



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH LISOVACÍHO NÁSTROJE PRO VÝROBU VÁLCOVÉHO POUZDRA

DESIGN FORMING TOOL FOR PRODUCTION OF CYLINDRICAL CASE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL FIEDOR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN DVOŘÁK, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Fiedor

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh lisovacího nástroje pro výrobu válcového pouzdra

v anglickém jazyce:

Design forming tool for production of cylindrical case

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výroba tvarového pouzdra obráběním je neekonomická. Je třeba pro zadané ocelové pouzdro navrhnout nový technologický postup realizovatelný na navrženém sdruženém tvářecím nástroji.

Cíle bakalářské práce:

Pro zadané tvarové ocelové pouzdro navrhnout technologický postup tváření, doložit potřebnými výpočty, ekonomickým zhodnocením a navrhnout pro tuto technologii sdružený tvářecí nástroj.

Seznam odborné literatury:

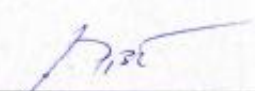
1. BAČA, Jozef; BÍLIK, Jozef; TITTEL, Viktor. Technologია tvárnenia. 1.vyd. Bratislava : STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9.
3. FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.


V Brně, dne 26.10.2010

L.S.



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

FIEDOR Pavel: Návrh lisovacího nástroje pro výrobu válcového pouzdra

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B-STG předkládá návrh tvářecího nástroje pro výrobu válcového pouzdra. Výroba zadané součásti je navržena na tři operace, při níž je provedeno rozšiřování pevným nástrojem a lemování. Nástroj je upnut do hydraulického lisu CUPJ 60/10. K přípravě polotovaru je použita technologie stříhání.

Cílem bakalářské práce je navržení technologického postupu výroby a zpracování výkresové dokumentace nástroje pro výrobu válcového pouzdra.

Klíčová slova:

trubka, tváření, rozšiřování, hydraulický lis

ABSTRACT

FIEDOR Pavel: Design forming tool for production of cylindrical case

The project was made as a part of a bachelor's degree study program B-STG and it proposes the concept of a molding instrument for the making of a headless bushing. The making of the given part consists of 3 operations, including widening by means of a hard instrument and flanging. The instrument is fastened into a hydraulic press CUPJ 60/10. The cutting method is used in order to prepare the semi-product.

The aim of the bachelor's thesis is to propose a technological procedure of making and processing of design documentation of an instrument for making a headless bushing.

Key words:

pipe, molding, widening, hydraulic press.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FIEDOR, Pavel. *Návrh lisovacího nástroje pro výrobu válcového pouzdra*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 45 s. 3 p. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Olomouci dne 27. 5. 2011

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. za odborné vedení, cenné připomínky a rady týkající se zpracování této práce.

Obsah

Titulní list	
Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	str.
1 Úvod.....	11
2 Současný stav řešení	12
2.1 Materiál součásti.....	13
2.2 Návrh vhodné metody výroby zadané součásti	14
2.2.1 Zhodnocení navržených metod	14
3 Literární studie.....	15
3.1 Technologie dělení trubek.....	15
3.1.1 Třískové dělení tenkostěnných trubek.....	15
3.1.2 Stříhání tenkostěnných trubek.....	16
3.1.3 Kvalita střížné plochy.....	20
3.1.4 Nové metody stříhání tenkostěnných trubek	21
3.2 Tváření konců trubek	22
3.2.1 Rozšiřování konců trubek.....	23
3.2.2 Zužování konců trubek	23
3.2.3 Zplošťování konců trubek.....	23
3.2.4 Lemování , Obrubování.....	24
3.3 Teorie procesních parametrů při tváření trubek	24
3.3.1 Předpoklady výpočtu u stacionárních tváření trubek.....	24
3.3.2 Výpočet práce při tváření konců trubek.....	25
3.3.3 Určení přibližné hodnoty součinitele účinnosti procesu tažení	27
3.3.4 Určení měrné plastické deformace trubky	30
3.3.5 Určení hodnoty deformace u stacionárních pochodů	32
3.3.6 Tažení s rozšiřováním	33
3.3.7 Rozšiřování trubky kuželovým trnem	34
3.3.8 Síla pro lemování	35
3.4 Mazání	36
3.5 Tvářecí stroje	36
3.5.1 Mechanické lisy	36
3.5.2 Hydraulické lisy	37

4	Výpočtová část.....	37
4.1	Výpočet spotřeby materiálu	37
4.2	Návrh tvářecího stroje.....	40
4.3	Popis a funkce stroje	41
5	Technicko ekonomické hodnocení	42
5.1	Fixní náklady	44
5.2	Celkové náklady	44
6	Závěr.....	45

Seznam použité literatury

Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam příloh

1 Úvod

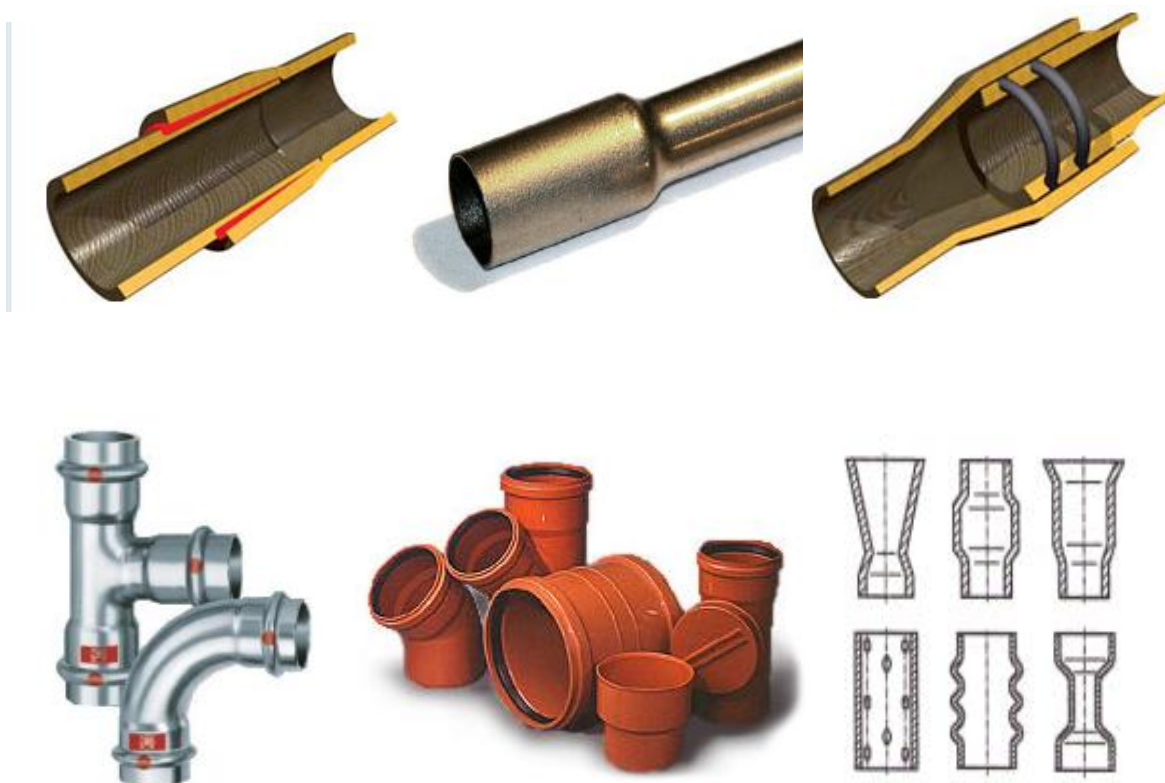
Na současném trhu se vyskytuje nepřeberné množství součástí zhotovených z trubek. Jejich uplatnění je například v automobilovém průmyslu, chemickém či potravinářském průmyslu, ale také ve stavebnictví či letectví aj.

Dílce z trubek se obecně vyrábí dvěmi základními technologiemi, a to obráběním a tvářením. Mnohem větší zastoupení mají dílce zhotovené technologií tváření, která je přijatelnější z hlediska úspory materiálu, mechanických vlastností dílce a především různorodosti procesů tváření. Trubky mohou být ohýbány, radiálně vypínány či na nich mohou být tvářeny pouze konce například rozšiřováním nebo naopak zužováním a v neposlední řadě i lemováním. Takovéto dílce mohou být součástí potrubních systémů, jízdních kol, výměníků tepla, rámu automobilů, leteckých motorů, nábytku, stavebních konstrukcí atd. Příklady dílců zhotovených technologií tváření trubek jsou uvedeny na obr.1.

Z větší části jsou trubky tvářeny za studena, v případech velkých deformací jako například při výrobě velmi malých poloměrů ohybu či při tváření méně tažných materiálů se využívá ohřevu, který bývá většinou lokální v místě největší deformace. Při tváření konců tenkostěnných trubek bývá někdy zařazováno i rekrystalizační žíhání pro obnovení plasticity materiálu.

Širokou škálu možností dává také příprava polotovaru na požadovanou délku. Zde je velmi důležité vyhnout se deformacím kruhového průřezu během dělení materiálu.

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na technologie úpravy konce trubky, z nichž jedna bude využita při výrobě zadané součásti.



Obr.1 Příklady součástí vyrobených z trubek [11],[13],[14],[17]

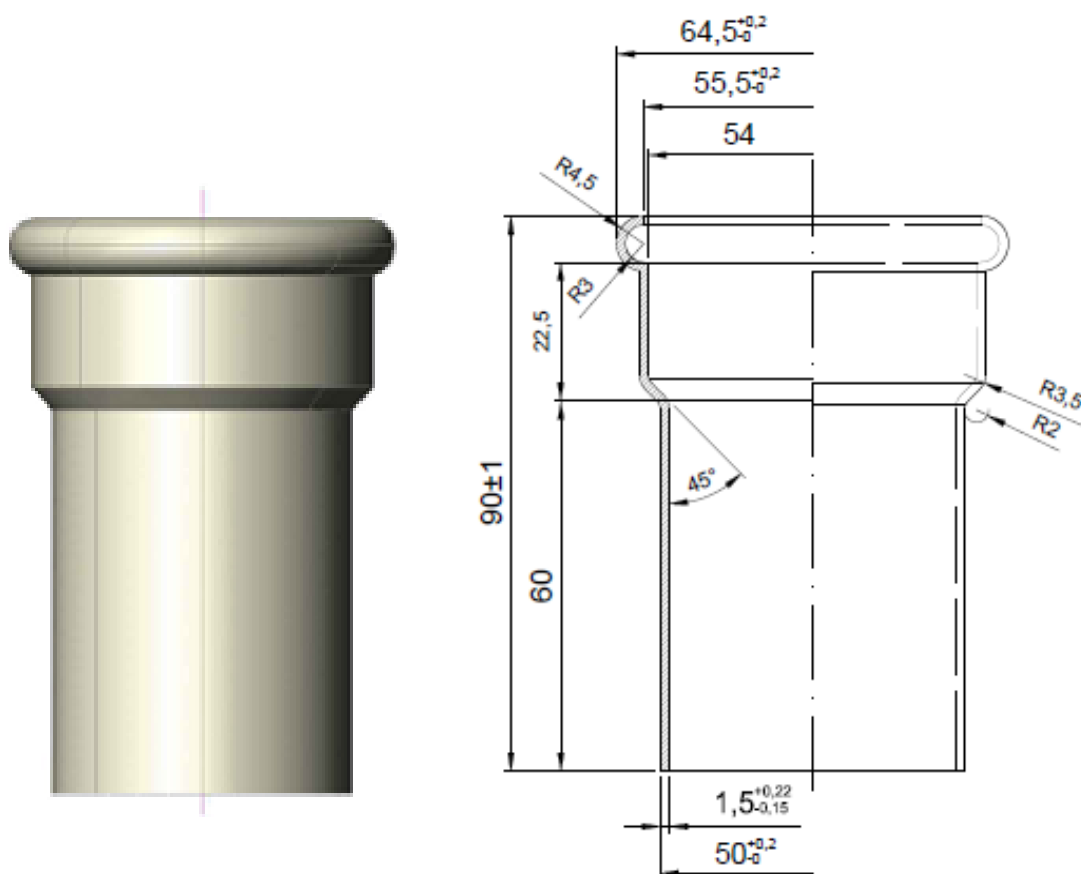
2 Současný stav řešení

Předkládaná práce je zaměřena na výrobu tvarové součástky z tenkostěnné trubky. Daná součást je zobrazena na obr. 2.

V současné době je řešená součást vyráběna technologií obrábění z tlustostěnné trubky za použití soustružnických nožů. Využití materiálu obráběním pro tuto součást je velmi malé. Převážná část materiálu se přetvoří na odpad v podobě třísek, proto je výroba velmi neekonomická. Navíc se vlivem třískového obrábění snižuje její pevnost a houževnatost, a to z důvodu přerušení vláken materiálu. Vyšší cena materiálu a delší výrobní časy pro dokončovací operace výrobu prodražují.

Z výše uvedených důvodů by bylo vhodné zvolit jiný způsob výroby zadané součásti, která bude úspornější (ekonomičtější) a co se týká konečných vlastností součásti i přijatelnější. Na první pohled se jako výhodný způsob výroby jeví technologie tváření.

V následující stati této práce jsou navrženy metody tváření vhodné pro výrobu zadané součásti. Ve všech uvažovaných případech tváření je využití materiálu podstatně vyšší než u technologie obrábění, což bylo hlavním důvodem volby technologie tváření.



Obr.2 Zadaná součást

2.1 Materiál součásti

Součást je vyrobena z materiálu DC01, který odpovídá přibližně oceli 11 320 dle značení EN 10130+A1. Jedná se nízkouhlíkovou nelegovanou ocel vhodnou k mělkému nebo hlubokému tažení. Tato ocel je dobře tvárná za studena i za tepla. Je také vhodná k objemovému tváření, pro žárové pokovování a smaltování.

Na základě výše uvedeného výčtu použitelnosti daného materiálu lze usoudit, že zvolený materiál ocel 11 320 je vhodný pro výrobu zadané součásti.

Mechanické vlastnosti a chemické složení dané oceli jsou uvedeny v Tab. 1 a 2.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 11 320 [11]

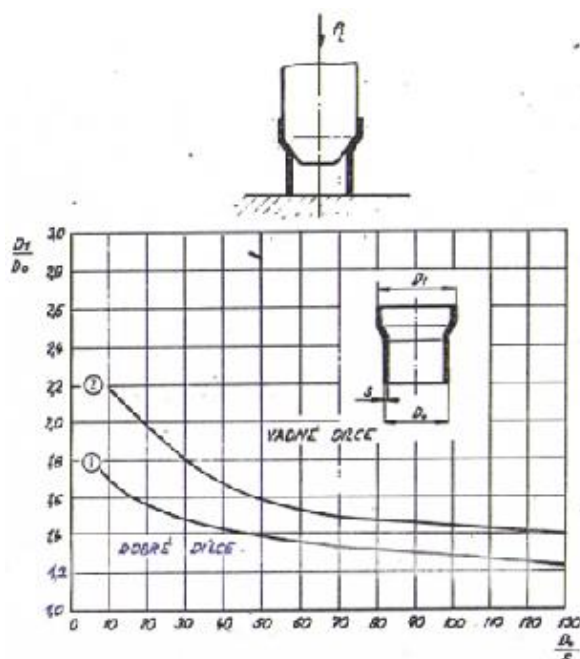
Stav.1	Normalizačně žhánuto
R_m [MPa]	270 – 490
$R_{e\ min}$ [MPa]	180 – 310
A_5 [%]	28

Tab. 2 Chemické složení oceli 11 320 [11]

C [hm. %]	max. 0,11
P [hm. %]	max. 0,045
S [hm. %]	max. 0,045

Pro ocel 11 320 byl na základě technologické zkoušky stanoven mezní stupeň rozšiřování válcových ploch [16]. Graf zkoušek je uveden na obr.3.

Na základě rozměrů zadané součásti bylo možné stanovit požadované poměry vyskytující se v grafu (obr.3) na souřadných osách. Vynesení těchto hodnot do grafu lze dospět k jednoznačnému závěru, že zvolená ocel 11 320 je vhodná pro daný typ tváření konce trubky.



Obr.3 Graf mezního stupně rozšiřování válcových ploch [16]

Mezní křivky diagramu na obr.3 byly stanoveny za podmínek:

- materiál – hlubokotažný ocelový plech typu ČSN 11 320 apod.
- materiál vyžíhaný.

2.2 Návrh vhodné metody výroby zadané součásti

Zadanou součást by bylo možné vyrábět buď pevným nebo nepevným nástrojem.[1],[3]

Jako nepevný nástroj je možno použít:

- elastického nástroje
- kapaliny

Jako pevný nástroj lze použít:

- segmentový pevný nástroj
- tažný tvarový nástroj (zužování, lemování, rozšiřování)

2.2.1 Zhodnocení navržených metod

Elastický nástroj

Jako elastický nástroj by bylo možné použít polyuretan nebo pryž. V dnešní době polyuretan jednoznačně nahrazuje pryž díky svým vlastnostem. Ve srovnání s pryží je polyuretan mnohem vhodnější, neboť snáší vyšší měrné tlaky (až 1000MPa), je odolnější vůči atmosférickým a chemickým vlivům, nereaguje s mazivy, lze jej snadno obrábět soustružením a v neposlední řadě odolává více opotřebení, tzn. má vyšší životnost.

Nástroj pro zhotovení požadovaného tvaru zadané součásti by byl v podstatě jednoduchý a levný. Součást by bylo možné s velkou pravděpodobností zhotovit v jedné operaci. Velkou nevýhodou je ale stanovení potřebné tvářecí síly, neboť tato se v tomto případě skládá ze tří dílčích složek. Z tvářecí složky potřebné na přetvarování samotné trubky, z třecí složky zahrnující tření mezi trubkou a nástrojem a mezi polyuretanem a trubkou a nakonec ze složky deformační zahrnující odpor polyuretanu vůči přetvoření a jeho přesouvání. Zejména tuto poslední složku je velice obtížné početně stanovit. Ke stanovení celkové tvářecí síly a pro zdárný průběh procesu tváření by v tomto případě bylo zapotřebí provést větší množství ověřovacích zkoušek ze zkušebními nástrojem než by bylo možné započít výrobu. Toto řešení je ovšem příliš zdlouhavé.[3]

Kapalina

Výhodou tváření kapalinou je, že zde není žádné tření mezi tvářecím médiem a polotovarem, dále vlivem nestlačitelnosti kapaliny není potřeba tak vysokých tlaků jako při použití elastického nástroje a stanovení tlaku a tvářecí síly je zde mnohem snadnější. Navíc kapalinou je možné tvářet i složitější tvary, neboť zde není problém se zatékáním media do komplikovaných míst.

Nevýhodou je ale složitý nástroj a strojní zařízení. Je zde potřeba důkladného těsnění, hydrauliky, přepouštěcích a regulačních ventilů, řídicí jednotky atd., což značně zvyšuje cenu nástroje.[3]

Segmentový nástroj

Segmentový nástroj je pevný kovový nástroj složený z jednotlivých tvarových segmentů, jejichž vnější reliéf odpovídá vnitřnímu tvaru zadané součásti. V první fázi

je trubka nasunuta na soustavu segmentů. Princip samotného tváření spočívá v zatlačení kuželového trnu mezi segmenty, což způsobí rozevírání segmentů v radiálním směru a vypínání a tvarování součástí.

Nevýhodou tohoto nástroje je nerovnoměrná tloušťka stěny po obvodu tvarové části a možný otisk hran segmentů na vnitřním povrchu součásti. Navíc výroba tvarových segmentů je cenově náročná, obzvláště pokud by segmenty měly být tvarované dle zadané součásti. [3]

Tažný tvarový nástroj

Tažný tvarový nástroj je v podstatě složen ze dvou hlavních funkčních částí, a to tažníku a tažnice. Někdy bývá zapotřebí i přidržovače. V případě tvarování konců trubek se spíše jedná o radiální roztahování stěny pomocí tvarového trnu neboli tažníku. Pro dosažení přesného tvaru je nutné užít pouzdra – tažnice. U složitějších tvarů není možné zhotovit celou součást v jedné operaci. To je možné brát jako nevýhodu. Ovšem na druhé straně výroba jednotlivých nástrojů je snadná a levná, nástroj je celkově jednoduchý a bezpečný. Není zde potřeba drahých zařízení jako např. u tváření kapalinou a stanovení jednotlivých tvářecích sil je snadné.

Daný nástroj lze přizpůsobit pro základní technologie tvarování konců trubek jako je zužování, rozšiřování či lemování. [3]

Celkové zhodnocení tvářených metod

Po zvážení všech výhod a nevýhod jednotlivých možností výroby a s ohledem na velikost výrobní série byla zvolena pro výrobu zadané součásti technologie tváření pomocí tažného tvarového nástroje. Součást bude vyráběna ve třech operacích. Popis funkce nástroje je uveden v kapitole 4.3.

3 Literární studie

3.1 Technologie dělení trubek

Pro součásti z trubek vyráběné jak třískovým obráběním, tak i tvářením se polotovary připravují dělením. Nástroje pro třískový způsob dělení jsou většinou pily nebo brusné kotouče. Nástroje pro beztřískový způsob dělení (stříhání) jsou nůžky, střížné nástroje. Vzhledem k parametrům zadané součásti je literární studie zaměřena pouze na malorozměrové dílce z tenkostěnných trubek.[1],[7]

Tenkostěnné trubky se dělí :

- třískovým způsobem
- stříháním
- odtavením

3.1.1 Třískové dělení tenkostěnných trubek

Dělení tenkostěnných trubek třískovým způsobem lze na strojních pilách, na rozbrušovacích strojích nebo upichováním na soustruzích. Nevýhodou těchto způsobů jsou poměrně dlouhé časy na dělení, velké ztráty materiálu a opotřebení pil.[1],[7]

Dělení strojními pilami

Je to univerzální způsob třískového dělení materiálu, kterým se dosahuje čisté plochy řezu a přesnosti úhlu dělení. Vzniklý odpad je roven objemu materiálu (šířka pily krát průřez děleného materiálu). Pro dělení se používají pily rámové, pásové a kotoučové.[1],[7]

Dělení na rozbrušovacích strojích

K dělení tenkostěnných trubek z korozi-vzdorných a ledeburických ocelí jsou používány rozbrušovací stroje z důvodu, neboť řezání strojními pilami je pro nízkou životnost nástroje neekonomické. K dělení se používá kotouč z elektriku nebo jiného materiálu, který má při velké obvodové rychlosti dostatečnou trvanlivost.[1],[7]

Dělení upichováním na soustruzích

Pro dělení trubek se používá tento způsob v kusové výrobě na přesné polotovary.

3.1.2 Stříhání tenkostěnných trubek

Vtlačováním nožů do materiálu začíná střížný proces, při kterém dochází k deformaci podélných vláken a odchylce od daného geometrického tvaru. Dalším pohybem jsou vlákna natahována a současně vytlačována do stran, aby se uvolnilo místo pro vnikající nože. V první fázi je materiál deformován pružně a při dalším pohybu je namáhán plasticky. Tlakové napětí dosáhne nejprve meze kluzu ve smyku, přičemž vznikají axiální tlakové síly, které dosahují velikosti třecích sil mezi nástrojem a materiálem. V druhé fázi dosáhne tlakové napětí meze pevnosti ve smyku a zvětšujícími se axiálními tlakovými silami je způsoben relativní pohyb mezi trubicí a nástrojem. Nastává smykové prodloužení. Trhlínky v materiálu vycházejí od střížné hrany a při optimální vůli na sebe navazují. Dochází tak k vlastnímu dělení materiálu.[1],[7]

Způsoby stříhání

Beztrískové dělení tenkostěnných trubek je zahrnuto do objemového stříhání.[1]

Trubky se stříhají:

- na profilových nůžkách
- v nástroji s odpadem
- v nástroji bez odpadu
- kotoučovými noži

Stříhání v nástroji s odpadem

Při použití této technologie se získává kvalitní střížná plocha, protože je deformován pouze odpad. Šířka odpadu (tloušťka nože) je závislá na rozměru, tvaru a na pevnosti materiálu. Tento způsob stříhání profilů na nástrojích je vhodný zejména pro velkosériovou výrobu. Pro stříhání trubek s odpadem je používáno několika typů nástrojů.[1],[7]

Stříhání tenkostěnných trubek – vertikální způsob

Během střížného procesu je trubka sevřena po obvodě čelistmi, které jsou ovládány odpruženým přidržovačem, umístěným v horní části nástroje nebo bočním klínem. Nůž vniká hrotem do trubky a odstřihuje obvykle dvojitým stříhem úzký prstenec (odpad). Tloušťka nože má být minimálně 1,5 až dvojnásobek tloušťky stěny trubky:

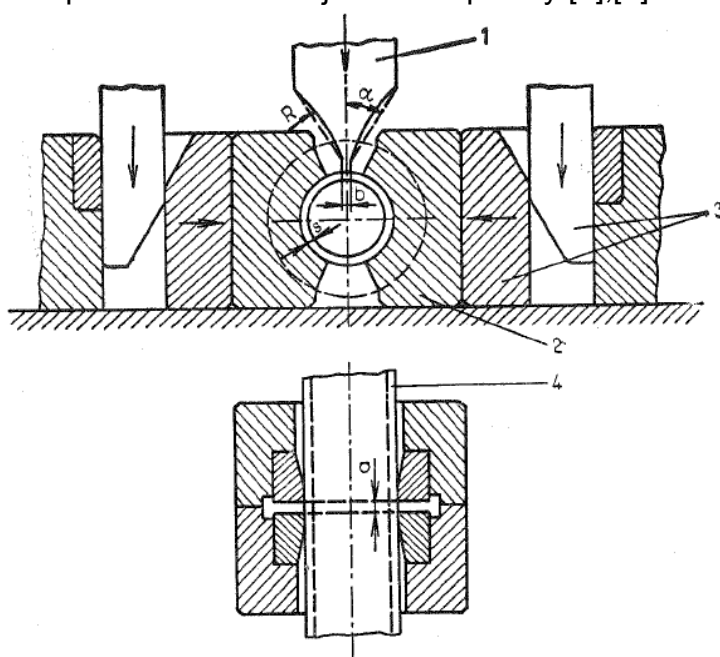
$$\alpha = (1,5 \div 2) \cdot s; \alpha = 30^\circ \quad (3.1)$$

$$\text{Šířka hrotu nože } b = 2 \cdot s. \quad (3.2)$$

Poloměr tvaru nože R odpovídá 1,2 násobku průměru stříhané trubky.

$$R = 1,2 \cdot D \quad (3.3)$$

V místě vnikání nože je trubka mírně deformována. Lze tímto způsobem stříhat trubky jiných průřezů. Na obrázku č. 4 je zobrazeno schéma nástroje pro stříhání tenkostěnných trubek. Při stříhání trubek umístěním rozpínacího trnu v nástroji lze dosáhnout podstatně kvalitnější střížné plochy.[1],[7]



Obr. 4 Nástroj pro stříhání tenkostěnných trubek – vertikální způsob[1]

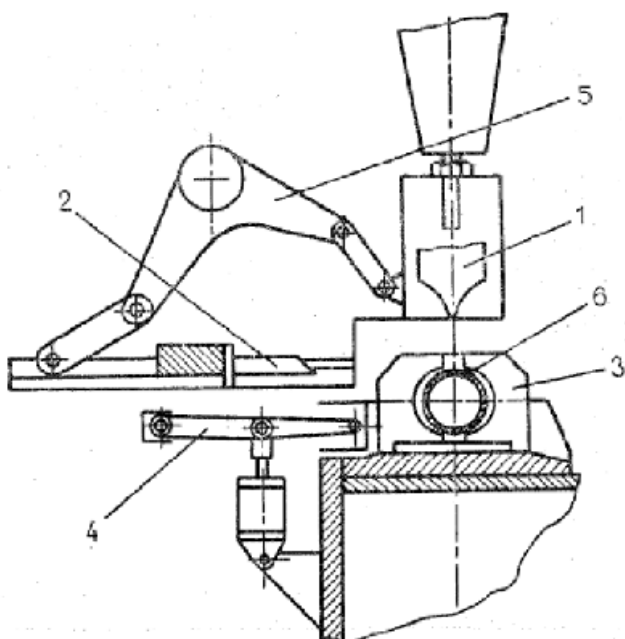
1 – pohyblivý nůž, 2 – čelisti, 3 – klínové ovládání čelistí, 4 – stříhaná trubka, a – tloušťka nože, α – úhel nože, R – poloměr tvaru nože, s – tloušťka stěny trubky, b – šířka hrotu nože.

Stříhání tenkostěnných trubek – horizontálně vertikální způsob

Stříhání tenkostěnných trubek se skládá ze tří pracovních částí:

1. fáze: uzavřený profil se z obou stran upne,
2. fáze: nůž s horizontálním pohybem odstřihne horní část profilu,
3. fáze: po vrácení horizontálního nože do výchozí polohy vnikne klínový vertikální nůž do prostříženého otvoru a stříh dokončí.

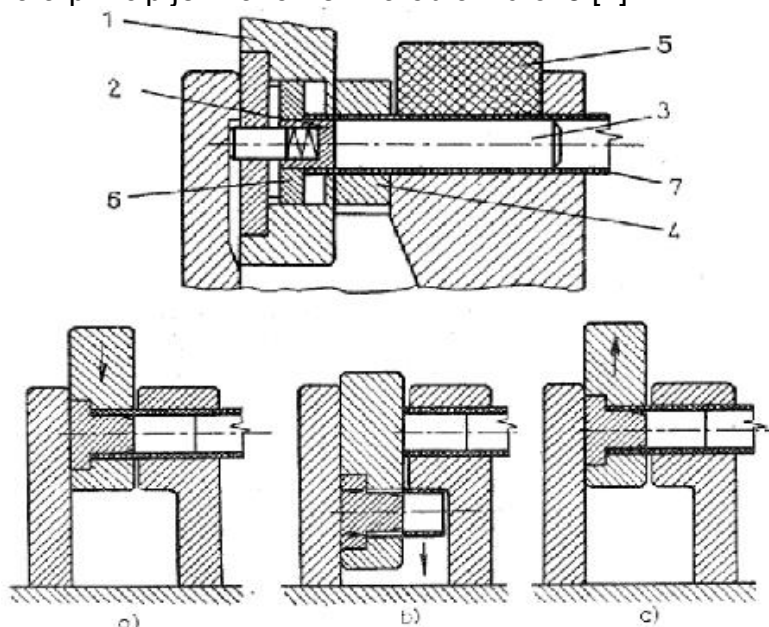
Trubky stříhané touto technologií se vyznačují kvalitní střížnou plochou. Princip je znázorněn na obrázku č.5. [1],[7]



Obr. 5 Princip zařízení ke stříhání tenkostěnných trubek-horizontálně vertikální způsob[1]
 1– vertikální nůž; 2–boční nůž; 3–čelisti ; 4–upínání čelisti ; 5–pohon bočního nože; 6–trubka;

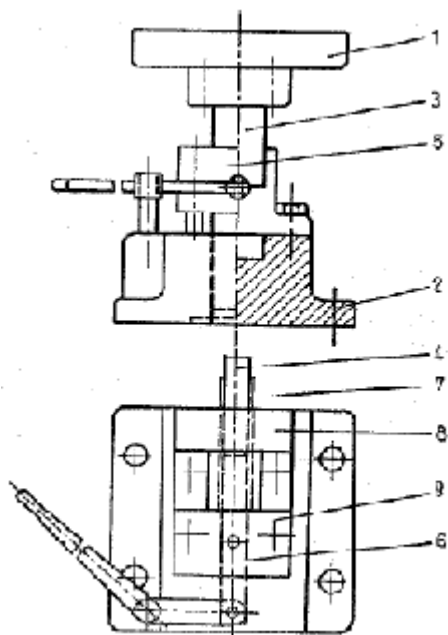
Stříhání v nástroji bez odpadu

U nástrojů běžných konstrukcí pro stříhání tenkostěnných trubek není dosahováno tak kvalitních střížných ploch jako při stříhání s odpadem. Deformace tvaru profilu je závislá na přesnosti provedení tvaru pevného a pohyblivého nože. Nože nástroje pro stříhání otevřených profilů bez odpadu mají tvar přibližně stejný, jako tvar stříhaných profilů. Při stříhání uzavřených profilů a trubek bez odpadu je používána dvojice trnů, které lze konstruovat jako letmé nebo rozpínací. Odstraní se tím deformace při stříhu. Schéma a princip je znázorněn na obrázku č. 6.[1]



Obr.6 Princip a schéma nástroje pro stříhání trubek a uzavřených tenkostěnných profilů [1]
 a – počáteční fáze, b – fáze stříhu, c – konečná fáze, 1 – pohyblivý nůž, 2 – trn, 3 – plovoucí trn, 4 – pevný nůž, 5 – přidržovač, 6– vyhazovač, 7 – stříhaná trubka.

Konstrukce nástroje pro stříhání krátkých trubek ve velkých sériích je znázorněna na obrázku 7.



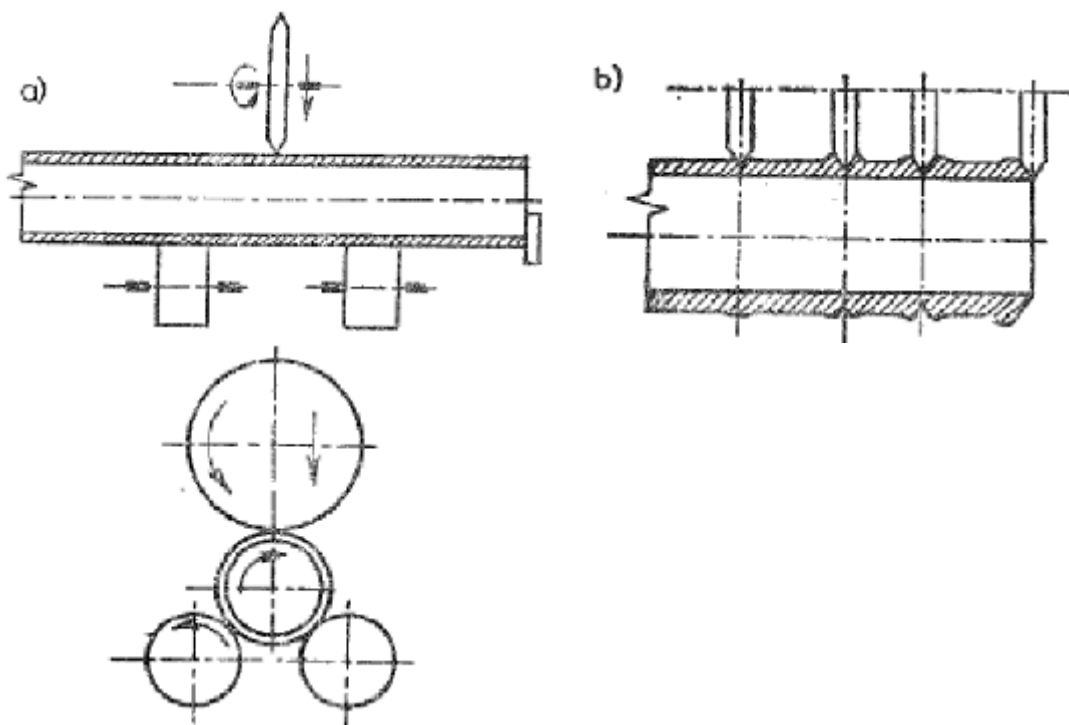
Obr. 7 Nástroj pro stříhání trubek bez odpadu [1]

1–horní část nástroje, 2–spodní část nástroje, 3–pohyblivý nůž, 4–trn, 5–upínací čelist, 6–ovládání trnu, 7–stříhaná trubka, 8–střížnice, 9–doraz

Nástroj se skládá z horní a dolní části 1 a 2, do nichž jsou upnuty funkční části nástroje střížnice 8, doraz 9, pohyblivý nůž 3, upínací čelist 5 a ovládání trnu 6. Dvojice trnů 4 vyplňuje při stříhání trubka 7. Po skončení stříhu se pákou trn vysune a ústřížek trubky vypadne. Oba trny se dotýkají na střížné hraně.[1],[7]

Stříhání kotoučovými noži

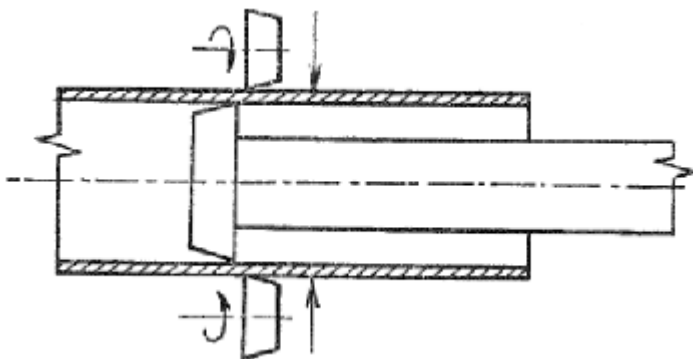
Stříhání trubek kotoučovými noži se provádí metodou Kleager a metodou stříhání s otočným trnem. Při využití metody Kleager je do trubky, která je uložena na válečkách, vtlačován břit kotoučového nože. Na povrchu otáčející trubky se vytváří ryska, která se prohlubuje až do úplného oddělení části trubky. Princip obrázku 8 je založen na stříhání s využitím únavy materiálu. [1],[7]



Obr. 8 Stříhání trubek kotoučovými noži[1]

a – princip, b – schéma oddělování trubky

Stříhání trubek s otočným trnem je znázorněno na obr. 9. Tuto technologii lze používat pro trubky s maximální tloušťkou 3mm.



Obr.9 Stříhání trubek s otočným trnem [1]

3.1.3 Kvalita střížné plochy

Tolerancí délky, úhlovou úchylkou roviny stříhu od roviny kolmé k ose profilu, drsností střížné plochy a velikostí deformace tvaru profilu výchozímu tvaru je určena přesnost dělené trubky.[1],[7]

Nejkvalitnější střížná plocha má tyto hodnoty:

- maximální úchylka tvaru je 1,1% vnějšího průměru trubky,
- úhlová odchylka roviny stříhu od roviny kolmé k ose profilu je 0,5°,
- tolerance délky je $\pm 0,08$ mm,
- drsnost střížné plochy je $Ra = 1,6 \mu m$.

Kvalitní střížná plocha s rovinným povrchem a s minimálním otřepem se získá za podmínek:

- odchylka vnějšího průměru stříhané trubky musí být v rozmezích $\pm 0,2$ mm,
- odchylka tloušťky stěny stříhané trubky nesmí přesáhnout 10% tloušťky stěny,
- tuhý stroj a kvalitní nástroj s uzavřenými noži.

3.1.4 Nové metody stříhání tenkostěnných trubek

Při stříhání tenkostěnných trubek mají vliv na přesnost ústřížku mechanické vlastnosti stříhaného materiálu, povrch a tolerance stříhaného materiálu, konstrukce a geometrie nástroje, rychlost stříhání a poměr L/D. Při L/D menším než 0,8 vznikají větší deformace.

Při současném způsobu stříhání trubek vzniká velká deformace ústřížků a ovalita, zejména ve střížné ploše.

Výše uvedené nevýhody lze odstranit stříháním trubek novými způsoby, při kterých je v místě stříhu vyvozen víceosý stav napjatosti. Podle způsobu vyvození dvojosého nebo tříosého stavu napjatosti se zařízení dělí na zařízení s axiální silou, zařízení s radiálním sevřením tyče i ústřížku a zařízení pro stříhání s přídavným krutem.[1],[7]

Stříhání trubek s axiálním předpětím

Ve výzkumném středisku FZU pro tváření ve Zwickau bylo vyvinuto společně s VEB Umformtechniku ve Erfurtu, zařízení pro stříhání tyčí a trubek s axiálním předpětím a se střížnou rychlostí $v = 2.m.s^{-1}$. (3.4)

Zařízení je řešeno jako automatická stříhací linka, která je vybavena lisem PXS 125s nástrojovým systémem, zásobníkem pro trubky nebo tyče a zařízením na hrotování a z dopravního zařízení na odvádění ústřížků. Tímto uspořádáním je umožněno v automatickém procesu vyrovnat a očistit deformované konce trubek a tyčí i otřepy po řezání na pile. Takto upravené trubky nebo tyče jsou přiváděny do tvářecího stroje.[1],[7]

Výhody lisu PXS 125 :

- Vyšší kvalita stříhaných částí proti obvyklým způsobům stříhání na nůžkách a lisech. Ústřížky se vyznačují čistými a téměř rovinnými střížnými plochami bez vad, minimálním otřepem a velmi malým sklonem střížné plochy vůči ose stříhu ve svislé rovině.
- Záruka nejmenších délkových tolerancí ústřížků je dána kontrolou délky posuvu před každým stříháním.
- Použitelný pracovní rozsah od $\varnothing 30$ – $\varnothing 62$ mm.
- Dosahuje se vyšší produktivity práce.
- Vlivem plně automatizovaného procesu je dosaženo vyšší produktivity práce a úspory pracovních sil.
- Konstrukce stříhacího lisu PXS 125 umožňuje vestavěním speciálních nástrojových systémů univerzální nasazení u různých druhů profilů. Použití rozsahu stříhacího lisu PXS 125 je rozšířeno o stříhací zařízení na trubky pro beztliskové zhotovování kroužků z trubek. Vyvinuté zařízení je laboratorní a pracuje s opěrným trnem na straně ústřížku i tyče. Laboratorní zařízení bylo dimenzováno na stříhání trubek o vnějším

průměru 28 mm až 62 mm. Přípustné odchylky vnějšího průměru trubky jsou $\pm 0,3$ mm. Zařízení je vybaveno uzavřenými, pouzdrovými noži pracujícími z boku trubky nebo otevřenými noži, pracujícími ve směru od ústřížku. Délky ústřížku jsou od 10 mm do 60 mm.

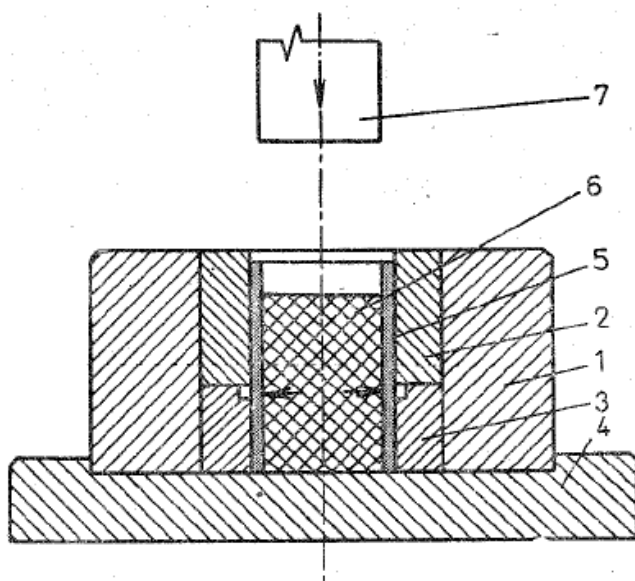
- Ústřížky se vyznačují vyšší kvalitou střížné plochy, minimálním otřepem a malým sklonem střížné plochy ke svislé rovině. Maximální úhel sklonu jedné střížné plochy proti druhé činí u ústřížků trubek $0,50^\circ$.

Stříhání trubek vysokou střížnou rychlostí

Využitím vysokých střížných rychlostí je získáno kvalitních střížných ploch. Švédská firma HJO Mekaniska Verkstad používá pro stříhání trubek speciálních zařízení, u kterého je střížná rychlost $v = 10.m.s^{-1}$. (3.5) Urychlení je provedeno pomocí pneumatického válce se speciálním uspořádáním ventilu.[1],[7]

Stříhání trubek pomocí pružných materiálů

Technologie stříhání tenkostěnných trubek pomocí pružných materiálů (např. polyuretan, pryž) bylo testováno ve Velké Británii. Na obrázku č. 10 je schematicky znázorněn nástroj pro stříhání trubky pomocí polyuretanu.



Obr. 10 Stříhání trubek polyuretanem [1]

Nástroj se skládá z masivního tělesa 1, do něhož jsou uloženy střížnice 2, 3, a ze základové desky 4. Střížná trubka 5 je vyplněna polyuretanem 6 a vložena do nástroje. Při stříhání působí na polyuretan trubky trn 7, který polyuretan stlačí a má tedy funkci střížníku. Střih je proveden radiálním směrem.[1],[7]

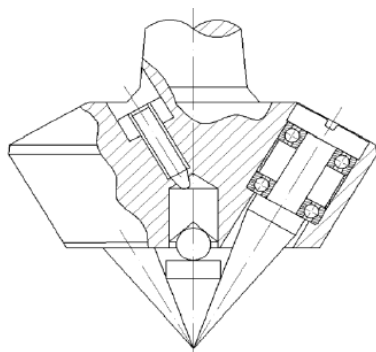
3.2 Tváření konců trubek

Konce trubek je možné tvářet níže uvedenými základními metodami. [1],[4]

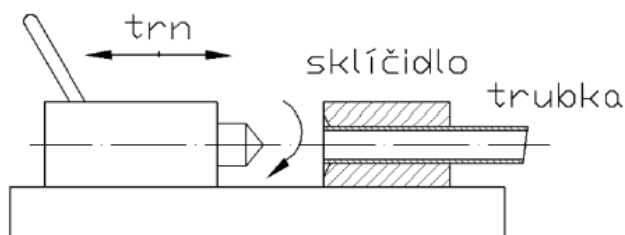
- 1) rozšiřováním,
- 2) zužováním,
- 3) zplošťováním,
- 4) lemováním

3.2.1 Rozšiřování konců trubek

Rozšiřování – tato operace se používá na úpravu konců trubek pro rozebíratelné systémy. Jejich použití je pro hydraulické a palivové systémy ve speciální technice. Pro výrobu kuželového hrdla u rozměrnějších trubek se používá speciálních trnů (obr.11). Rozválnování se děje tlakem kuželů za současné rotace nástroje, vlastní rotační pohyb konají i kužele. [1],[2]



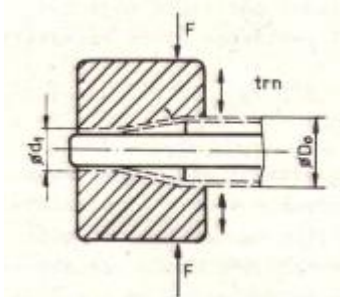
Obr.11 Rozválnovací trn [2]



Obr.12 Přípravek na rozválnování trubek[2]

3.2.2 Zužování konců trubek

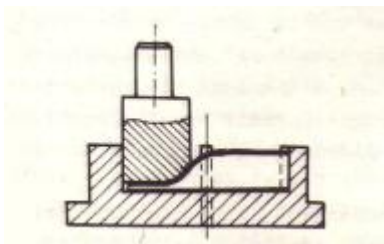
Zužování – tato operace se provádí nejčastěji protlačováním konce trubky do matrice, jejíž dutina má dva válcové úseky. Počáteční průměr trubky D_0 a konečný, kalibrační průměr d_1 . Případnému vybočení trubky nebo ohybu lze předejít využitím podpěr nebo ponorného upnutí asi v polovině její délky. Jiným zřízením k zužování trubek z různých materiálů je rotační kovací stroj, viz. obr.13. Trubka se pootáčí a vložením kalibračního trnu do dutiny se dosáhne přesného zúženého vnitřního rozměru. Rotačním kovááním lze provádět uzavírání konců trubek, zužování čepů.[1]



Obr. 13 Zužování trubky s využitím kalibračního trnu.[1]

3.2.3 Zplošťování konců trubek

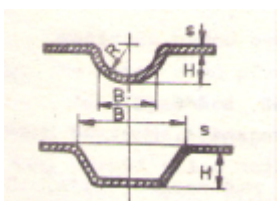
Zplošťování – tuto operaci lze provádět v přípravcích s využitím ručního lisu apod. Tvar zápusky je dán druhem zploštění, které je symetrické nebo nesymetrické. Na obr. 14 je uvedeno schéma pro nesymetrické zploštění konců trubek.[1]



Obr. 14 Přípravek na zplošťování trubek.[1]

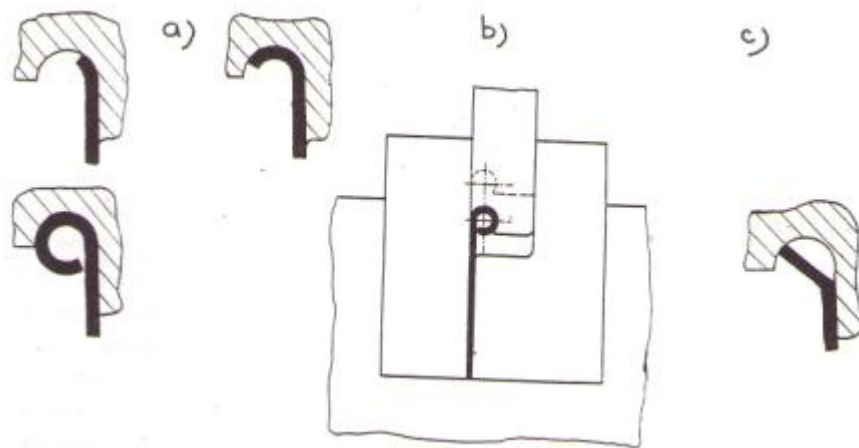
3.2.4 Lemování , Obrubování

Obrubování, lemování je operace, při které se protlačují na plochých nebo zakřivených dílech, případně trubkách různá žebra a prolisy. Profilem pracovních válečků je dán jejich tvar. Touto metodou získají dílce potřebnou stabilitu, tuhost a jsou připraveny na další tvářecí operace. [16]



Obr. 15 příklad tvaru vyztužených žebel[19]

Lemovací nástroje se konstruuji pro lem přímý a kruhový. Je to v podstatě vytváření válcového zakončení bez trnu do poloměru $r < 3s$. Postup lemování je patrný z obr. 16a. Z obrázku jde vidět, že lemovaný konec musí být předehtnutý. V případě lemování nepředehtnutého konce dochází k vytvoření vícehonného nekruhového lemu obr. 16c.[4]



Obr. 16 Lemování a) bez trnu s předehtnutím, b) jednoduchý nástroj, c) nekruhový lem vzniklý nepředehtnutím.[4]

3.3 Teorie procesních parametrů při tváření trubek

3.3.1 Předpoklady výpočtu u stacionárních tváření trubek

- Při tváření tenkostěnných válcovaných polotovarů, např. trubek, objímek, válcovaných stěn tažených nádob se předpokládá změna tloušťky stěny a změna meze kluzu v tahu, které doprovázejí deformaci polotovaru.
- Schéma napětí a deformací jsou nezávislá na čase, čímž je problém výpočtu značně usnadněn a může být řešen pomocí poměrně jednoduchých metod, založených na energetické bilanci pochodu.

- Nejedná se tedy o metodu statickou (napjatost polotovaru je určována dosazením podmínky plasticity do rovnic rovnováhy a řešením takto získané diferenciální rovnice při tloušťce plechu a mezi kluzu v tahu = konstanta), ale o metodu dynamickou, která sleduje jak změnu tloušťky stěny v závislosti na změně meze kluzu v tahu tvářeného polotovaru, tak také velikost spotřebované práce která je potřebná na přemístění a deformaci jednotlivých elementů, jejichž velikost vychází právě z energetického rozboru daného procesu.[2],[3]

3.3.2 Výpočet práce při tváření konců trubek

S problémem energetického argumentu se předpokládá, že práce vnější síly A_Z , nutná k tváření trubek, je částečně vynaložena na plastickou deformaci zpracovávaného materiálu A_{PL} , zbytek se jako třecí práce A_T mění na teplo na styčných plochách materiálu a nástroje.[2]

Lze zapsat:

$$A_Z = A_{PL} + A_T \quad (3.6)$$

kde: A_{PL} – plastická deformace [-]
 A_T – třecí práce [J]
 A_Z – práce vnější síly [J]

Po zavedení součinitele účinnosti pochodu η , určeného vzorcem:

$$\eta = \frac{A_{PL}}{A_Z} = 1 - \frac{A_T}{A_Z} \quad (3.7)$$

kde: η – součinitel účinnosti pochodu [-]
 A_{PL} – plastická deformace [-]
 A_Z – práce vnější síly [J]
 A_T – třecí práce [J]

Je možno závislost napsat ve tvaru:

$$A_Z = \frac{A_{PL}}{\eta} \quad (3.8)$$

kde: A_Z – práce vnější síly [J]
 A_{PL} – plastická deformace [-]
 η – součinitel účinnosti pochodu [-]

nebo:

$$A_Z = \frac{w}{\eta} \cdot V \quad (3.9)$$

kde: w – práce plastické deformace vztažená na jednotku objemu tělesa, [J]

V – objem tvářeného materiálu.	[m ³]
η – součinitel účinnosti pochodu	[-]
A _Z – práce vnější síly	[J]

Ve stacionárních pochodech má síla F od nástroje a působící na tvářený materiál, stálou hodnotu. Práce této síly vynaložené na dráze h je:

$$A_Z = F \cdot h \quad (3.10)$$

kde: A_Z – práce vnější síly, [J]
h – dráha. [m]
F – síla působící na příčný průřez [N]

Současně s přemístěním materiálu o veličinu h se zvětší objem tvářeného materiálu o:

$$V = S \cdot h \quad (3.11)$$

kde: V – zvětšený objem tvářeného materiálu, [m³]
S – je příčný průřez té části polotovaru, na kterou působí síla F, [m²]
h – dráha. [m]

Dosazením těchto vztahů do rovnice (3.10) dostaneme po dělení veličinou h (přemístění materiálu), základní vzorec pro sílu působící ve stacionárních pochodech:

$$F = \frac{w}{\eta} \cdot S \quad (3.12)$$

kde: w – práce plastické deformace vztažená na jednotku objemu tělesa, [J]
η – součinitel účinnosti pochodu, [-]
S – je příčný průřez té části polotovaru, na kterou působí síla F. [m³]
F – síla působící na příčný průřez [N]

Po úpravě výše uvedené rovnice plochou S příčného průřezu polotovaru přenášejícího sílu F je meridiální napětí σ_2 , působící v tomto průřezu ve tvaru:

$$\sigma_2 = \frac{F}{S} = \frac{w}{\eta} \quad (3.13)$$

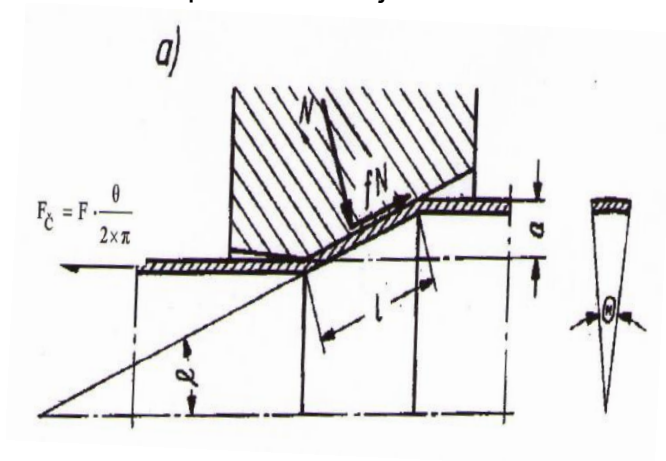
kde: F – síla působící na příčný průřez S, [N]
S – je příčný průřez té části polotovaru, na kterou působí síla F, [m²]
w – práce plastické deformace vztažená na jednotku objemu tělesa, [J]
η – součinitel účinnosti pochodu. [-]

Meridiální napětí σ_2 v příčném průřezu polotovaru při stacionárním pochodu je rovno podílu měrné plastické deformaci w a součinitele účinnosti pochodu η.

Velikost práce A_z , síly F , popřípadě velikost meridiálního napětí σ_2 je třeba znát součinitel pochodu η a hodnotu jednotkové práce w spotřebované k plastické deformaci. [2]

3.3.3 Určení přibližné hodnoty součinitele účinnosti procesu tažení

- Pracovní plocha nástroje má tvar kužele o středovém úhlu $2 \cdot \gamma$ (viz. obr. 16):



Obr. 16 Kuželový nástroj o středovém úhlu $2 \cdot \gamma$

Na element polotovaru vymezený dvěma rovinami procházejícími osou polotovaru a tvořící velmi malý úhel θ působí pak tyto síly s průměty ve směru osy :

- (1) Část vnější síly F_c připadající na zkoumanou výseč polotovaru a rovnající se :

$$F_c = F \cdot \frac{\theta}{2 \times \pi} \quad (3.14)$$

kde: F_c – část vnější síly [N]
 F – síla působící na příčný průřez S , [N]
 θ – úhel procházející mezi dvěma rovinami [°]
 π – Ludolfovo číslo [-]

- (2) Složka síly N od nástroje směřující kolmo k tvořící přímce kužele.

Složka $f \times N$, směřující podél tvořící čáry ve směru opačném k pohybu materiálu.

Podmínkou rovnováhy těchto sil ve směru osy nástroje je :

$$N \times \sin \gamma + f \cdot N \cdot \cos \gamma = F \cdot \frac{\theta}{2 \cdot \pi} \quad (3.15)$$

a po úpravě:

$$N = \frac{F}{\sin \gamma + f \cdot \cos \gamma} \cdot \frac{\theta}{2 \cdot \pi} \quad (3.16)$$

Při zanedbání délky tvořící čáry, k níž dochází při některých pochodech, pak práci vnější síly lze psát ve tvaru:

$$A_T = F \cdot h \quad (3.17)$$

kde: A_T – třecí práce [J]
 h – dráha. [m]
 F – síla působící na příčný průřez [N]

dráze h , odpovídá práce tření:

$$A_T = f \cdot N \cdot h \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\vartheta} \quad (3.18)$$

kde: A_T – třecí práce [J]
 f – součinitel tření [-]
 N – síla kolmá na třecí sílu [N]
 h – dráha. [m]

která je součinem složky $f \cdot N$, dráhy h . Dosazením do vzorce místo složky N veličinu vztahu (3.17) se obdrží:

$$A_T = \frac{f \cdot F \cdot h}{\sin \gamma + f \cdot \cos \gamma} \quad (3.19)$$

Ze známé práce tření A_T a jí odpovídající práci A_Z ze vzorce (3.10), je možno s použitím vztahu (3.7) vyjádřit hodnotu součinitele účinnosti vztahem:

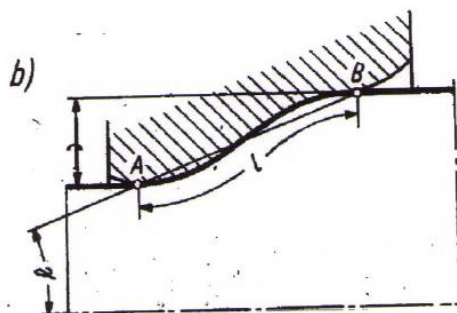
$$\eta = 1 - \frac{A_T}{A_Z} = 1 - \frac{f}{\sin \gamma + f \cdot \cos \gamma} \quad (3.20)$$

Po úpravě :

$$\eta = 1 - \frac{l}{a} \cdot \frac{f}{1 + f \cdot \cot \gamma} \quad (3.21)$$

kde: l – délka tvořící čáry kužele, na níž materiál přiléhá k nástroji [mm]
 a – je průmět této tvořící čáry na rovinu kolmou k ose (obr.16). [mm]
 f – součinitel tření [-]
 η – součinitel účinnosti pochodu. [-]

- Obrys nástroje není kuželový (viz. obr. 17).



Obr. 17 Nástroj nekuželového charakteru

K určení velikosti součinitele účinnosti η v případě, kdy obrys nástroje není kuželový, je třeba nahradit skutečný obrys kuzelem, jehož tvořící čára je spojena krajními body AB (délka styku materiálu s nástrojem), jak je znázorněno na obr. 9. Tímto způsobem se určí úhel γ vyskytující se ve vzorci (3.22). Délka l odpovídající skutečné délce styku materiálu s tažníkem a je různá od vzdálenosti krajních bodů AB (viz. obr. 17). Je třeba vzít v úvahu nárůst třecí práce způsobené zvětšením styčné plochy tvářeného materiálu s nástrojem.

Ve zvláštním případě, kdy nástroj tlačí na materiál podél kruhového oblouku o poloměru ρ a středového úhlu $\pi/2$ je délka dotyku $l = \rho \cdot \frac{\pi}{2}$ a průměr této čáry na směr kolmý k ose je $a = \rho$. Úhel γ přímky spojující kontaktní čáry styku je v tomto případě $\pi/4$, a tedy $\cotg \gamma = 1$. Dosazením těchto veličin do vzorce (3.22) se obdrží:

$$\eta = 1 - \frac{\pi}{2} \cdot \frac{f}{1+f} \quad (3.22)$$

kde: f – součinitel tření [-]
 π – Ludolfovo číslo [-]
 η – součinitel účinnosti pochodu. [-]

Tvoří-li čáry dotyku půlkruh, jako je tomu u technologie zpětného tažení, lze vyjádřit parametry:

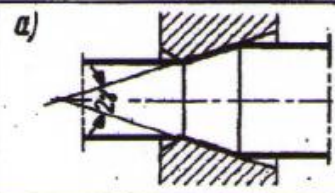
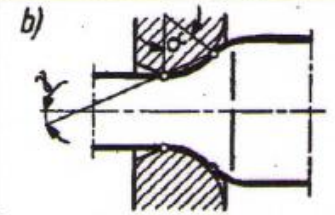

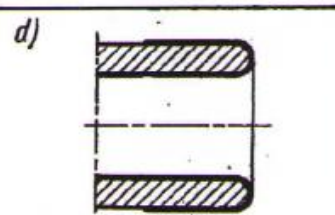
$$l = \pi \cdot \rho, \quad a = 2 \cdot \rho, \quad \gamma = \pi/2, \quad \cotg \gamma = 0 \quad (3.23)$$

Po dosažení těchto veličin do vzorce (3.22) je:

$$\eta = 1 - \frac{\pi}{2} \cdot f \quad (3.24)$$

kde: f – součinitel tření [-]
 π – Ludolfovo číslo [-]
 η – součinitel účinnosti pochodu. [-]

Tyto výsledky jsou sestaveny v tab. 1, v níž jsou rovněž uvedeny hodnoty součinitele η , vypočítané pro součinitel tření $f = 0,15$

<i>Tvar obrysu nástroje</i>	<i>Obecný vzorec</i>	<i>Hodnota</i>
a) 	$\eta = 1 - \frac{f}{\sin \gamma + f \cos \gamma}$	je-li: $f = 0,15$ $\gamma = 30^\circ$ $\eta = 0,76$
b) 	$\eta = 1 - \frac{f \alpha}{1 - \cos \alpha + f \sin \alpha}$	je-li: $f = 0,15$ $\alpha = 60^\circ (\gamma = 30^\circ)$ $\eta = 0,75$
c) 	$\eta = 1 - \frac{\pi}{2} \frac{f}{(1+f)}$	$f = 0,15$ $\eta = 0,8$
d) 	$\eta = f - \frac{\pi}{2} f$	$f = 0,15$ $\eta = 0,76$

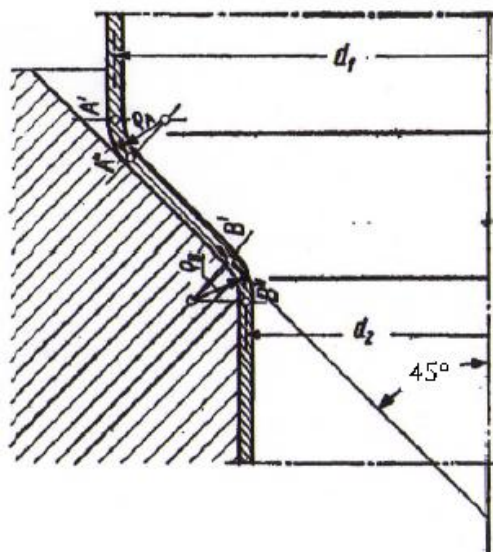
Tab. 1 Výpočetní vztahy pro účinnost tvářecích procesů[2]

3.3.4 Určení měrné plastické deformace trubky

Ve stacionárních pochodech tažení válcových výtažků je deformace plechů způsobena:

- postupnými změnami zakřivení poledníku polotovaru,
- změnou průměru a tloušťky taženého válcového elementu.

Pro zjednodušení se předpokládá, že oba druhy deformací vznikají nezávisle a nahradí se skutečný obrys poledníku, lze nahradit obrysem zjednodušeným, složeným výhradně z přímých úseků a kruhových oblouků, viz obr. 18.



Obr. 18 Obrys polotovaru skládající se z rovných úseků a kruhových oblouků[2]

Při změně obrysu polotovaru se předpokládá:

- Během tažení v bodech A, A', B', B'' není průměr polotovaru podroben změně,
- Při změně polotovaru se nemění jeho zakřivení v meridiální rovině.

Celkovou deformaci materiálu $\varphi_{i \text{ celk}}$ lze určit jako součet středních hodnot deformací $\varphi_{iA'}$, $\varphi_{iA''}$, $\varphi_{iB'}$, $\varphi_{iB''}$ souvisejících se změnou křivosti v bodech A, A', B', B'', a deformace náhradní φ_{iAB} spojené se změnou rozměrů polotovaru:

$$\varphi_{i \text{ celk}} = \varphi_{iAB} + \sum \varphi_i \quad (3.25)$$

Dále se předpokládá:

- **Střední hodnota meze kluzu R_e** v průřezu tvářeného polotovaru je funkcí takto určené celkové deformace materiálu (znamená to např., že ohýbání plechu vyvolává v důsledku stlačení stejný vzrůst meze kluzu v tahu R_e jako obdobná deformace spojená se změnou průměru, jsou-li hodnoty náhradní deformace v obou případech navzájem rovny).

- Tím je umožněno zjednodušením problému určit **hodnotu měrné práce pomocí křivek diagramu zpevnění**.

Odpovídá-li výchozí stav tvářeného materiálu počátečnímu bodu křivky na diagramu zpevnění, pak je možno určit měrnou práci plastické deformace ze vzorce:

$$w = \frac{L}{V} = \lambda \cdot R_e \cdot \varphi_{i \text{ celk}} \quad (3.26)$$

kde: L – deformační práce, [J]
V – objem tvářeného materiálu, [m³]
 λ – součinitel plnosti diagramu zpevnění, [-]
 R_e – mez kluzu v tahu daného materiálu [MPa]
 $\varphi_{i \text{ celk}}$ – celková hodnota plastické deformace. [-]

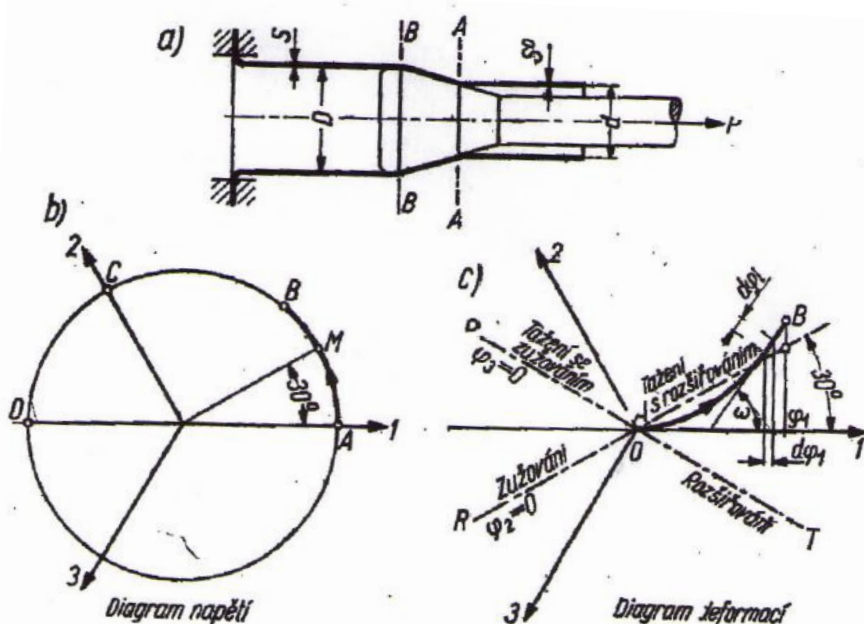
Střední hodnotu intenzity deformace φ_i , spojené se změnou zakřivení, lze určit pomocí vzorce:

$$\varphi_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{s}{4 \cdot \rho} \quad (3.27)$$

kde : s – tloušťka plechu [mm],
 ρ – poloměr zakřivení materiálu [mm].

3.3.5 Určení hodnoty deformace u stacionárních pochodů

Určení hodnoty deformace je spojené se změnou průměru a je složitější, protože z konstrukce nástroje vyplývá pouze konečný průměr polotovaru, a tedy hodnota **obvodové deformace φ_1** , podélné prodloužení nebo zkrácení výlisku nejsou naproti tomu předem známy. Není rovněž předem znám průběh deformace (počet tahů apod.), na němž je rovněž závislá hodnota intenzity plastické deformace. Pro teoretické určení závislosti, k nimž dochází, uvažuje se stacionární proces tažení trubky s rozšiřováním pomocí kuželového trnu, viz. obr. 19. [2]



Obr. 19 Stacionární pochod obvodového a osového tažení trubky[2]

V každém stacionárním pochodu nastává deformace materiálu vlivem napjatosti, mění se s postupujícím posunem uvažovaného elementu polotovaru po povrchu nástroje. Na začátku procesu v průřezu A – A (obr. 19) převládá tažení s rozšiřováním působením obvodových napětí σ_1 , neboť v tomto průřezu jsou osová (meridiální) napětí $\sigma_2 = 0$, protože na nedeformovanou část trubky nepůsobí žádné síly. Tento stav odpovídá bodu A na kružnici napětí (obr. 19 b) a vyvolává deformaci vyjádřenou v diagramu deformací (obr. 19 c) velmi malým úsekem čáry probíhající tangenciálně k ose 1. S postupným přesunem uvažovaného elementu směrem ke konečnému průřezu B – B (obr. 19) vzrůstá osová (meridiální) napětí σ_2 a současně dochází k příslušné změně obvodového napětí σ_1 . Bod vyjadřující napjatost se tedy přesune podél kruhového oblouku od počátečního bodu A k bodu B, odpovídajícímu

konečnému stavu. Se změnou napjatosti se mění schéma deformací, což způsobuje zakřivení čáry, již je v diagramu zobrazen průběh deformace (obr. 19 c). konečný stav deformace, získaný jako výsledek celého pochodu, je možné určit promítnutím konečného bodu čáry deformace B na každou ze tří os. Průmět tohoto bodu na osu (I) musí samozřejmě dát hledanou hodnotu obvodové deformace:

$$\varphi_1 = \ln \frac{D}{d} \quad (3.28)$$

kde: d – počáteční průměr tvářené trubky,
D – konečný průměr tvářené trubky.

Délka čáry deformace vyjadřuje hodnotu intenzity plastické deformace φ_i pro průběh vymezený touto čarou. Průběh pochodu v diagramu deformací lze určit přesně na základě úměrnosti přírůstků deformací u příslušných složek deviátoru napětí (v praktických aplikacích je metoda dosti pracná a někdy i obtížná). Pro praktické zjednodušení je možno určit přibližnou intenzitu plastické deformace, a to aplikací určitého schématu deformací, který je charakteristický pro tento proces. Pro čtyři základní pochody lze použít těchto charakteristických schémat :

A) Pro tažení , rozšiřování a pro zužování

$$\sigma_1 = R_\epsilon; \quad \varphi_2 = 0; \quad \varphi_3 = -\varphi_1 \quad (\text{obr. 19 b oblast A-B})$$

B) Pro tažení se zužováním a pro rozšiřování

$$\sigma_1 = -\sigma_2 = R_\epsilon; \quad \varphi_3 = 0; \quad \varphi_1 = -\varphi_2 \quad (\text{obr. 19 b oblast C-D})$$

Předpoklad:

Nahrazení skutečné křivky, vyjadřující průběh deformace v diagramu úsekem přímky vycházející ze středu soustavy a svírající s osou (1) úhel + 30° nebo -30° podle druhu operace. Je-li takto vymezen průběh deformace, je možno určit jak hodnotu intenzity deformace, tak rovněž konečné rozměry uvažovaného válcového elementu. Tato metoda poskytuje také možnost určit velikost síly k vytažení trubky.

3.3.6 Tažení s rozšiřováním

Deformace vzniká podle schématu $\varphi_2 = 0; \varphi_3 = -\varphi_1$, což odpovídá schématu napětí vyjádřeném bodem M na kružnici napětí (obr. 11 b). Jelikož tento bod leží přibližně uprostřed oblouku A-B, odpovídajícího napjatosti při tažení s rozšiřováním, může být uvedené schéma deformací skutečně považováno za nejvhodnější pro tento proces. Předpoklad, že $\varphi_2 = 0$, je rovnocenný s úvahou, že délka tvořící čáry tvářeného válcového polotovaru není podrobena změně během procesu zvětšování

jeho průměru. Z toho plyne závěr, že plocha průřezu trubky S po její deformaci se musí rovnat ploše výchozího průměru S_0 .

$$S \approx S_0 \quad (3.29)$$

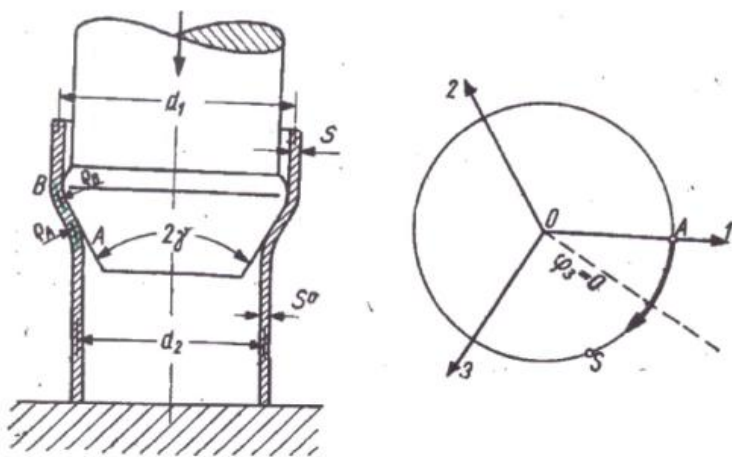
Zvětšení průměru válcového elementu nastává výhradně zmenšením jeho tloušťky, jež v konečné fázi získává hodnotu tloušťky stěny - s , kdy:

$$s \approx s_0 \cdot \frac{d}{D} \quad (3.30)$$

kde: d – výchozí průměr trubky, [mm]
 D – konečný průměr trubky, [mm]
 s_0 – její výchozí tloušťka. [mm]
 s – získaná tloušťka stěny [mm]

3.3.7 Rozšiřování trubky kuželovým trnem

Při rozšiřování trubek kuželovým trnem dochází k zvětšení průměru trubky d_2 na d_1 tahovým obvodovým napětím σ_1 a tlakovým napětím meridiálním σ_2 vyvolaným silou F působící na trn, viz obr. 20.



Obr.20 Stacionární pochod rozšiřování trubky kuželovým trnem.[2]

Napjatosti tohoto druhu odpovídá oblouk AS na kružnici napětí a charakteristické schéma deformací $\varphi_3 = 0, \varphi_2 = \varphi_1$.

Plocha příčného průřezu trubky se proto zvětší stejným poměrem jako její průměr. Naproti tomu se zmenšuje délka trubky.

Intenzita deformace, již je podroben materiál při rozšiřování je určena vzorcem:

$$\varphi_{i\text{ celk}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{s}{2 \cdot \rho_A} + \frac{s}{2 \cdot \rho_B} \right) \quad (3.31)$$

kde: d_2 – výchozí průměr trubky na středu její tloušťky, [mm]
 d_1 – konečný průměr trubky na středu její tloušťky, [mm]
 s – tloušťka stěny trubky, [mm]
 ρ_A – poloměr zakřivení výtažku vztažený ke středu tloušťky materiálu,
 ρ_B – poloměr zakřivení výtažku vztažený ke středu tloušťky materiálu.

Dosazením závislosti (3.30) do obecného vztahu (3.13) je možno určit sílu $F_{\text{taž}}$ nutnou k vytažení trubky ze vzorce:

$$F_{\text{taž}} = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot \frac{\lambda}{\eta} \cdot R_e \cdot \varphi_{i\text{ celk}} \quad (3.32)$$

kde: d – výchozí průměr trubky, [mm]
 η – součinitel účinnosti pochodu, [-]
 s_0 – její výchozí tloušťka, [mm]
 R_e – mez kluzu, [MPa]
 λ – součinitel plnosti diagramu zpevnění, [-]
 $\varphi_{i\text{ celk}}$ – celková hodnota plastické deformace. [-]

Přičemž η určíme ze vzorce (3.20).

Uvedený vztah pro velikost $F_{\text{taž}}$ je nutný i z konstrukčního hlediska pro návrh nástroje.

3.3.8 Síla pro lemování

Intenzita plastické deformace bude stanovena pro lemování do tvaru půlkruhu dle vztahu, který vychází z pochodu rozšiřování trubek rozšiřováním.

$$\varphi_{\text{celk}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\ln \left(1 + \frac{4r}{D} \right) + \frac{s}{4r} \right] \quad (3.33)$$

kde: r – poloměr lemu, [mm]
 D – průměr trubky před obrubováním, [mm]
 s – tloušťka stěny trubky, [mm]
 $\varphi_{(i\text{ celk})}$ – celková hodnota plastické deformace. [-]

F = k dokončení operace lemování na konci procesu

$$F = \pi \cdot d \cdot s \cdot \frac{\lambda}{\eta} \cdot R_e \cdot \varphi_{i\text{ celk}} \quad (3.34)$$

kde: d – výchozí průměr trubky, [mm]
 η – součinitel účinnosti pochodu, [-]
 s – tloušťka stěny trubky, [mm]

R_e – mez kluzu – 310 [MPa],

λ – součinitel plnosti diagramu zpevnění- např.0,82,

$\varphi_{i celk}$ – celková hodnota plastické deformace.

Stanovení síly na vytvoření lemu lze vypočítat podle přibližného vzorce:

$$F = 1,1 \cdot \pi \cdot s \cdot R_e (D - d) \quad (3.35)$$

kde: D – průměr vnějšího lemu [mm],

d – průměr otvoru [mm],

s – tloušťka stěny trubky [mm].

3.4 Mazání

Mazání při rozšiřování má ten význam, že se zmenší tření mezi materiálem a nástrojem, zmenší se napětí v kovu a výrobek se ochrání od přilepování, záděr a škrábanců.[1]

Pro výrobu válcového pouzdra byl zvolen tvářecí olej DRAWSOL 3068 od firmy CHARVÁT Group s.r.o., která zastupuje v České republice společnost D.A.Stuart Oil.[9]

Popis maziva:

DRAWSOL 3068 je olej ke studenému tváření na bázi minerálního oleje pro tváření nelegovaných ocelí, hliníku a jeho slitin, barevných kovů.[8],[9]

Použití maziva:

Olej se používá pro hluboké tažení i s velkým ztenčením stěny, lisování, pěchování, ohrančování, ohýbání, ražení, přesné stříhání, tažení profilů a drátů z nelegované oceli, hliníku a barevných kovů.[8],[9]

3.5 Tvářecí stroje

Lisy rozdělujeme podle způsobu, jak se uvádějí do chodu na mechanické, elektromagnetické, pneumatické a hydraulické. Pro lisování se nejvíce používá mechanických lisů, které se dělí na klikové a vřetenové.

Mechanické a hydraulické lisy se dělí podle toho, jak působí na lisovaný materiál:

- jednočinné lisy
- dvojčinné lisy
- trojčinné lisy

3.5.1 Mechanické lisy

Mechanické lisy nachází uplatnění hlavně při tváření rozměrově velkých polotovarů nebo při tváření, kdy je zapotřebí značné síly. Toto zaměření se tedy bude vyjímat spíše u malosériové výroby, pro postupové tváření s menším počtem tvářecích operací a také tam, kde je nutné zařadit mezioperační žíhání. Lisy bývají zpravidla vybaveny dalšími pomocnými mechanizmy, především na podávání, třídění, přesunování polotovarů. Pro svou značnou sílu jsou tyto lisy dostatečně tuhé a proto je kvalita zpracovaných součástí co do přesností tvarů a jakosti a rozměrů dosti vysoká.[1]

Mechanické lisy můžeme rozčlenit na:

Klikové lisy:

- jsou vhodné pro protlačování,
- vyznačují se poměrně velkým zdvihem,
- nutnost vykazovat tuhost a dosti velkou pracovní dráhu.

Kolenové lisy:

- vykazují značnou tuhost,
- vhodné pro tváření při krátkých pracovních drahách,
- vyznačují se poměrně malým zdvihem,
- vykazují tzv. špičku tvářecí síly na konci zdvihu.

3.5.2 Hydraulické lisy

Pro svoji plynulost a schopnost vyvodit značnou tvářecí sílu jsou vhodné zejména pro protlačování rozměrných a hlavně dlouhých protlačků. Jsou tedy schopné pracovat na dlouhých pracovních drahách. Jsou však ale značně pomalé a tedy i produktivita není tak velká jako na ostatních strojích. Na rozdíl od mechanických lisů nemají hydraulické lisy klikové ústrojí a je tedy za potřeby nastavit seřiditelný doraz pro omezení zdvihu.[1]

Přednosti hydraulických lisů jsou:

- vysoké síly
- možnost nastavit pracovní část zdvihu
- značný rozsah rychlostí zdvihu
- snadná reverzace pohybu beranu
- mechanizace pomocných operací

Nedostatky:

- nižší účinnost než u mechanických lisů
- nižší rychlost a výrobnost
- složitost konstrukce pohonu
- vyšší cena
- obtížná identifikace poruch

4 Výpočtová část

4.1 Výpočet spotřeby materiálu

Počet kusů z trubky:

$$n_p = \frac{L_t}{L_p} [\text{ks}], \quad (4.1)$$

kde: n_p – počet kusů z jedné trubky, [ks]
 L_t – délka trubky, [mm]
 L_p – délka polotovaru. [mm]

Počet kusů z trubky délky 6 m:

$$n_p = \frac{6000}{98} = 61,224 \Rightarrow 61 \text{ ks}$$

Zbytek z jedné trubky: $6000 - (61 \cdot 98) = 22 \text{ mm}$

Délka trubky vychází s koncovou ztrátou materiálu. S ohledem na manipulaci s materiálem, koncovou ztrátu a zvoleného typu nůžek, která má automatický posun materiálu byla zvolena délka tyče 6 m.

Počet trubek pro výrobní sérii:

$$n_c = \frac{n_v}{n_p} [\text{ks}], \quad (4.2)$$

kde: n_c – celkový počet trubek, [ks]
 n_v – výrobní série, [ks]
 n_p – počet kusů z jedné trubky. [ks]

$$n_c = \frac{100000}{61} = 1639,34 \Rightarrow 1640 \text{ ks.}$$

Celková hmotnost materiálu pro výrobní sérii:

$$M_c = V \cdot \rho \cdot n_c = L_t \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho \cdot n_c [\text{kg}], \quad (4.3)$$

kde: M_c – celková hmotnost materiálu na výrobní sérii, [kg]
 V – objem, [m³]
 D – průměr tvářené plochy, [m]
 n_c – celkový počet trubek, [ks]
 ρ – hustota materiálu. [kg.m⁻³]

$$M_c = \left[\left(6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \right) \left(6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,047^2}{4} \right) \right] \cdot 7850 \cdot 1640 = 176452,96 \text{ kg.}$$

Hmotnost polotovaru součásti:

$$Q_p = L_p \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot \rho [\text{kg}], \quad (4.4)$$

kde: Q_p – hmotnost polotovaru, [kg]
 L_p – délka polotovaru, [m]
 d_p – průměr polotovaru, [m]
 ρ – hustota materiálu. [kg.m⁻³]

$$Q_p = \left[\left(0,098 \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \right) - \left(0,098 \cdot \frac{\pi \cdot 0,047^2}{4} \right) \right] \cdot 7850 = 0,175824 \text{ kg.}$$

Ztráta materiálu z nevyužitého konce trubky na jednici:

$$q_k = \left(L_k \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \right) \cdot \rho \text{ [kg]}, \quad (4.5)$$

kde: q_k – ztráta materiálu z nevyužitého konce trubky na jednici, [kg]
 L_k – délka nevyužitého konce trubky, [m]
 d_p – průměr polotovaru, [m]
 ρ – hustota materiálu. [kg.m⁻³]

$$q_k = \left[\left(0,022 \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \right) - \left(0,022 \cdot \frac{\pi \cdot 0,047^2}{4} \right) \right] \cdot 7850 = 0,03947 \text{ kg}$$

Mezní stupeň rozšiřování válcových ploch lisováním[15]

První tah	Druhý tah	Současně první a druhý tah
$\frac{D_1}{D_0} = \frac{57}{50} = 1,14$	$\frac{D_1}{D_0} = \frac{63,84}{57} = 1,12$	$\frac{D_1}{D_0} = \frac{63,84}{50} = 1,2768$
$\frac{D_1}{s} = \frac{50}{1,5} = 33,3$	$\frac{D_1}{s} = \frac{57}{1,316} = 43,31$	$\frac{D_1}{s} = \frac{50}{1,5} = 33,3$
Dobré dílce	Dobré dílce	Dobré dílce

Výpočet ztenčení stěny

Ztenčení stěny pro první operaci podle vzorce (3.30):

$$s_1 \approx 1,5 \cdot \frac{50}{57} = 1,316 \text{ mm}$$

Ztenčení po druhé operaci:

$$s_2 \approx 1,316 \cdot \frac{57}{64,5} = 1,163 \text{ mm}$$

Součinitel účinnosti pochodu

$$\eta = 1 - \frac{A_T}{A_Z} = 1 - \frac{f}{\sin \gamma + f \cdot \cos \gamma} = 1 - \frac{0,15}{\sin 45 + 0,15 \cdot \cos 45} = 0,816$$

Síla k tažení

$$F_{\text{taž}} = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot \frac{\lambda}{\eta} \cdot R_e \cdot \varphi_{i \text{ celk}} = \pi \cdot 48,5 \cdot 1,5 \cdot \frac{0,82}{0,816} \cdot 310 \cdot 0,624 = 44\,428 \text{ N} = 44,4 \text{ kN}$$

Intenzita plastické deformace pro lemování

$$\varphi_{\text{celk}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left[\ln \left(1 + \frac{4 \cdot r}{D} \right) + \frac{s}{4 \cdot r} \right] = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left[\ln \left(1 + \frac{4 \cdot 3}{50} \right) + \frac{s}{4 \cdot 3} \right] = 0,36$$

Součinitel účinnosti pochodu pro lemování

$$\eta = 1 - \frac{\pi}{2} \cdot f = 1 - \frac{\pi}{2} \cdot 0,15 = 0,76$$

Síla na lemování (obrubování)

$$F = \pi \cdot d \cdot s \cdot \frac{\lambda}{\eta} \cdot R_e \cdot \varphi_{i \text{ celk}} = \pi \cdot 63,84 \cdot 1,163 \cdot \frac{0,82}{0,76} \cdot 310 \cdot 0,36 = 28085,8 \text{ N} = 28,1 \text{ kN}$$

4.2 Návrh tvářecího stroje

Při volbě vhodného tvářecího nástroje je nutné brát v potaz především tvářecí sílu, rozměry součástí, zdvih a sevření beranu. Dle ověření výpočtem lze vyráběnou součást pro výrobu válcového pouzdra navrhnout hydraulický lis pod označením CUPJ 60/10, který je vhodný pro hromadnou výrobu.

Lis je vhodný pro zalisování rotorů nebo pouzder ložisek a pro technologické operace stříhání, tažení, ohraničování nebo ražení. Lis umožňuje kontrolu dosažení minimální síly během zvolené oblasti lisování, nastavení prodlevy na konci lisování, regulaci síly pro lisování pomocí řídicího systému. Odměřování polohy beranu lze naprogramovat až na 99 různých pracovních cyklů a jejich uložení do paměti. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze č.2. [13]



Technické údaje	CUPJ	MJ
Jmenovitá síla lisu	600	kN
Výkon	11	kW
Rychlost beranu	85	mm/s
Rozevření hlavního beranu	1450	mm
Plocha stolu	750x600	mm

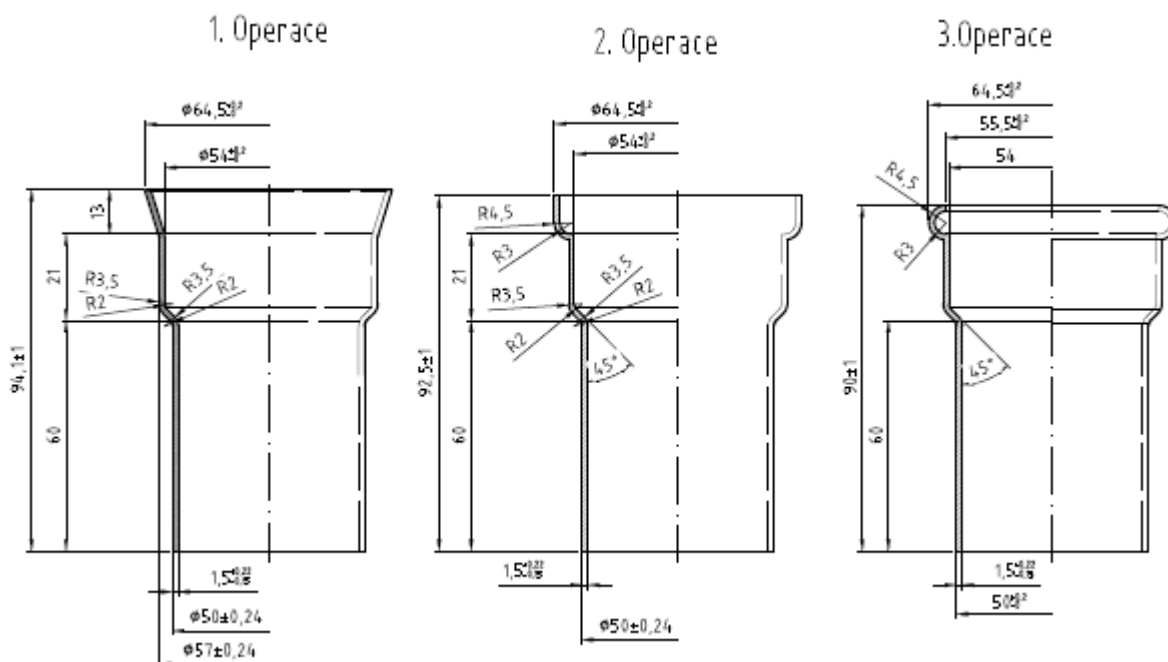
Obr. 21 Hydraulický lis CUPJ 60/10[13]

4.3 Popis a funkce stroje

Byl zvolen typ nenormalizovaného stojánku obdélníkového tvaru s vodícími sloupky v ose. Jejich použití je pro malé přesné výlisky, hlavně z kusových polotovarů. Průtláčnice je upnutá zajišťovacím šroubem. Používá se pro tažení kruhových výlisků s malými a středními rozměry (do 200 mm) z kruhových kusových polotovarů. Tvářecí nástroj je navržen pro ruční podávání.

V první operaci se výrobek vloží do tažnice a rozšíří na požadovaný tvar. Pro vytažení výtažku z tažnice má nástroj vyhazovač, který vysune součást po jejím rozšíření. Po výměně tažníku pokračujeme v druhé operaci vytvořením čtvrt kruhu pro dokončení ve třetí operaci. Tato operace je nezbytná, abychom vytvořily předežnutí lemu pro dokončovací operaci. Po další výměně tažníku za matici se ve třetí operaci vytvoří lem na konci součásti.

Byly navrženy dva přípravky na rozšiřování trubek. První přípravek je navrhnout pro vyšší zdvih stroje. Druhý přípravek je navržen na vyklopení a pro menší zdvih stroje. Postup je znázorněn na obrázku 22. Výkresová dokumentace je součástí přílohy.



Obr. 22 Postup rozšíření a lemování součásti

5 Technicko ekonomické hodnocení

Úkolem technicko – ekonomického hodnocení je stanovení nákladů potřebných k výrobě zadané součásti. Určení prodejní ceny součásti při dosažení požadovaného zisku a stanovení výrobního množství, které je nutno vyrobit pro generaci risku. Ekonomické zhodnocení je provedeno formou předběžné kalkulace, proto je třeba provedené výpočty chápat pouze jako orientační.[8]

Přímé náklady

Náklady na materiál: –

Roční spotřeba:

$$N_{\text{mat}} = m_s \cdot C_m = 176452,96 \cdot 22 = 3881965,12 \text{ CZK} \quad (5.1)$$

kde: m_s – materiálová spotřeba [kg]
 C_m – cena materiálu = 22 czk/kg včetně DPH. [czk/kg]
 N_{mat} – náklady materiálové [CZK]

Měsíční výrobní dávka

$$Q_m = \frac{Q}{12} = \frac{100000}{12} = 8334 \text{ ks} \quad (5.2)$$

kde: Q_m – měsíční výrobní dávka [ks]
 Q – roční výrobní série [ks]

Celkový strojní čas

$$t_A = \frac{t_{A1}}{60} \cdot Q = \frac{0,9}{60} \cdot 100000 = 1500 \text{ Nh} \quad (5.3)$$

kde: t_{A1}výrobní čas jednoho kusu ($t_{A1}=0,9 \text{ min.ks}^{-1}$) [min.ks⁻¹]
 t_A – celkový strojní čas [Nh]
 Q – roční výrobní série [ks]

Mzdové náklady

$$N_{mzdy} = t_A \cdot M_h = 1500 \cdot 150 = 225000 \text{ CZK} \quad (5.4)$$

kde: t_A – celkový strojní čas [Nh]
 M_hhodinová mzda ($M_h=150 \text{ CZK}$) [CZK]
 N_{mzdy} – náklady na mzdy [CZK]

Náklady na elektrickou energii

$$N_e = P \cdot t_A \cdot C_e = 11 \cdot 1500 \cdot 4,65 = 76725 \text{ CZK} \quad (5.5)$$

kde: Ppříkon elektromotoru lisu [11 kW] [kW]
 C_ecena elektřiny ($C_e= 4,65 \text{ CZK.kWh}^{-1}$) [CZK.kWh⁻¹]
 t_A – celkový strojní čas [Nh]
 N_e – náklady na elektrickou energii [CZK]

Celkové variabilní náklady

$$N_V = N_{mat} + N_{mzdy} + N_e = 3881965 + 225000 + 76725 = 4183690 \text{ CZK} \quad (5.6)$$

kde: N_V – celkové variabilní náklady [CZK]
 N_{mat} – náklady materiálové [CZK]
 N_{mzdy} – náklady na mzdy [CZK]
 N_e – náklady na elektrickou energii [CZK]

Variabilní náklady jednoho výrobku

$$C_V = \frac{N_V}{Q} = \frac{4183690}{100000} = 41,83 \text{ CZK} \quad (5.7)$$

kde: C_V – variabilní náklady jednoho výrobku [CZK]
 N_V – celkové variabilní náklady [CZK]
 Q – roční výrobní série [ks]

5.1 Fixní náklady

Fixní náklady vzhledem k výrobní sérii jsou neměnné.
Náklady na výrobní a správní režii

$$N_R = N_V \cdot \frac{(R_V + R_S)}{100} = 4183690 \cdot \frac{(75 + 60)}{100} = 5647981,5 \text{ CZK} \quad (5.8)$$

kde: R_V výrobní režie (75%) [CZK]
 R_S správní režie (60%) [CZK]
 N_V – celkové variabilní náklady [CZK]
 N_R – náklady na výrobní a správní režii [CZK]

Cena tvářecího nástroje stanovena odhadem.

$$N_{\text{nástr}} = 300000 \text{ CZK} \quad (5.9)$$

kde: $N_{\text{nástr}}$ – cena tvářecího nástroje [CZK]

Fixní náklady celkem

$$N_F = N_R + N_{\text{nástr}} = 5647981,5 + 300000 = 5947981,5 \text{ CZK} \quad (5.10)$$

kde: N_F – Fixní náklady [CZK]
 N_R – náklady na výrobní a správní režii [CZK]
 $N_{\text{nástr}}$ – cena tvářecího nástroje [CZK]

5.2 Celkové náklady

$$N_C = N_V + N_F = 4183690 + 5947981,5 = 10131672 \text{ CZK} \quad (5.11)$$

kde: N_C – celkové náklady [CZK]
 N_V – celkové variabilní náklady [CZK]
 N_F – Fixní náklady [CZK]

Výrobní zisk 20%

$$Z_V = N_C \cdot \frac{20}{100} = 10131672 \cdot \frac{20}{100} = 2026334,3 \text{ CZK} \quad (5.12)$$

kde: N_C – celkové náklady [CZK]
 Z_V – výrobní zisk [CZK]

Cena jednoho výrobku se ziskem 20%

$$C_z = \frac{N_C + Z_V}{Q} = \frac{10131672 + 2026334,3}{100000} = 121,6 \text{ CZK} \quad (5.13)$$

kde: N_C – celkové náklady [CZK]
 Z_V – výrobní zisk [CZK]
 C_Z – cena jednoho výrobku ze ziskem 20% [CZK]
 Q – roční výrobní série [ks]

Bod zvratu

$$B_Z = \frac{N_F}{C_Z - C_V} = \frac{5947981,5}{121,6 - 41,83} = 74564 \text{ ks} \quad (5.14)$$

kde: C_Z – cena jednoho výrobku ze ziskem 20% [CZK]
 N_F – Fixní náklady [CZK]
 C_V – variabilní náklady jednoho výrobku [CZK]
 B_Z – bod zvratu [ks]

Výroba válcového pouzdra začne být zisková při dosažení počtu výrobků odpovídající bodu zvratu, což je 74564 ks, na zařízeních již vybavené strojírenské firmy.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navržení technologického postupu tváření pro výrobu válcového pouzdra. Zvolený materiál součásti má označení DC01 EN 10130+A1 o tloušťce 1,5 mm.

Postup výroby začíná nastřiháním trubek na polotovary, rozšiřováním trubky na dvě operace a lemováním okraje se dokončí zadaný tvar. Pomocí ekonomického zhodnocení byla zjištěna cena jednoho výrobku, která činí 41,83 Kč. Bod zvratu při roční sérii 100000 ks je při 74564 kusech. Po překročení 74564 kusů je výroba zisková.

Pro výrobu válcového pouzdra byla zpracována výkresová dokumentace pro tři operace na vyklápečím nástroji, který je umístěn do hydraulického lisu z označením CUPJ 60/10. Tento lis vyhovuje pro danou technologii výroby.

Seznam použité literatury

1. DVOŘÁK, Milan, František, GAJDOŠ, Karel, NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
2. DVOŘÁK. Milan; *Stacionární pochody tažení, nekonvenční technologie– přednášky*
3. ŠMEHLÍKOVÁ, Eva. *Příspěvek k radiálnímu vypínání osově symetrických dílců*. 2007. 116 s., Příloh 12, CD. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí disertační práce Prof. Ing. Radko Samek, CSc.
4. BAČA, Jozef, Jozef, BÍLEK, Viktor, TITTEL. *Technolo'gia tvárnenie*. 1. vyd. Bratislava. STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
5. KOTOUČ, Jiří, et. al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
6. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9.
7. NOVOTNÝ, Josef, Zdeněk, LANGER, *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 216 s. L 13-B3-IV-41/22674.
8. FOREJT, Milan; Miroslav, PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
9. GRUFÍK, Lubomír. *Výroba součástí Trubka objemovým tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 69 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Karel Novotný, CSc.
10. CHARVÁT Group s.r.o. [online]. [cit. 2011-05-25]. Dostupné z [www:<http://www.charvat-chs.cz/admin/userfiles/File/prumyslove_oleje.pdf>](http://www.charvat-chs.cz/admin/userfiles/File/prumyslove_oleje.pdf)
11. LEINVEBER, Jan, Jaroslav, ŘASA, Pavel, VAVRA. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha : Scientia, 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
12. REIESNER, Jan. *Rozšiřování konců trubek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.
13. http://www.hsvpolicka.cz/a0793ea2_f951_47c9_b2cb_a1646a6d179a.aspx [online]. [cit.2010-05-23]. Dostupný z WWW: <http://www.hsvpolicka.cz/a0793ea2_f951_47c9_b2cb_a1646a6d179a.aspx>.
14. *Solar energy system* [online]. [cit. 2011-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarenergy.sk/>>.

15. Termolux [online]. [2005] [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.termolux.cz/>>.
16. TOMÁŠEK, Jiří. *Směrnice pro stanovení mezních stupňů přetvoření pravidelných tvarů součástí z plechu*. 1. ed. Brno: VÚTS, 1975. 51 s.
17. SAMEK, Radko. Eva, ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření*. Část 1.1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.
18. FURBACHER, Ivan. et al. *Lexikon technických materiálů*. Praha: Odborné nakladatelství technické literatury. 2001. 500 s. ISBN 80-86229-02-5.
19. ŽÁK, Jan, Radko, SAMEK a Bobumil BUMBÁLEK. *Speciální letecké technologie I*. 1. vyd. Ediční středisko VUT Brno. Brno: Rektorát Vysokého učení v Brně, 1990. 220 s. ISBN 80-214-0128-1

Seznam použitých zkratk a symbolů

Symbol	Legenda	Jednotka
A_5	Tažnost	[%]
A_{PL}	Plastická deformace	[J]
A_T	Třecí práce	[J]
A_Z	Práce vnější síly	[J]
B_Z	Bod zvratu	[ks]
C_e	Cena elektřiny	[CZK.kWh ⁻¹]
C_m	Cena materiálu	[CZK/kg]
C_v	variabilní náklady jednoho výrobku	[CZK]
D	konečný průměr trubky	[mm]
D_0	Vnější průměr trubky	[mm]
D_1	Vnější průměr po rozšíření	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	Síla působící na příčný průřez	[N]
$F_{\check{c}}$	Část vnější síly	[N]
$F_{taž}$	Síla k rozšíření trubky	[N]
L	Deformační práce	[J]
L_t	Délka trubky	[mm]
L_p	Délka polotovaru	[mm]
L_k	Délka nevyužitého konce trubky	[m]
M_C	Celková hmotnost na výrobní sérii	[kg]
M_h	Hodinová mzda	[CZK]
N_C	Celkové náklady	[CZK]
N_e	Náklady na elektrickou energii	[CZK]
N_v	Celkové variabilní náklady	[CZK]
N_{mat}	Náklady materiálové	[CZK]
N_{mzdy}	Náklady na mzdy	[CZK]
$N_{nást}$	Cena tvářecího nástroje	[CZK]
N_F	Fixní náklady	[CZK]
N_R	Náklady na výrobní a správní režii	[CZK]
P	Příkon elektromotoru	[kW]
Q	Roční výrobní série	[ks]
Q_m	Měsíční výrobní dávka	[ks]
Q_P	Hmotnost polotovaru	[kg]
R_e	Mez kluzu v tahu daného materiálu	[MPa]
R_S	Správní režie	[CZK]
R_V	Výrobní režie	[CZK]
S	Příčný průřez polotovaru	[mm]
V	Objem tvárného materiálu	[m ³]
Z_v	Výrobní zisk	[CZK]
d	Počáteční průměr trubky	[mm]
d_1	Konečný průměr trubky	[mm]
d_2	Výchozí průměr trubky	[mm]
d_p	Průměr polotovaru	[mm]
r	Poloměr lemu	[mm]
f	Součinitel tření	[-]

n_C	Celkový počet trubek	[ks]
n_P	Počet kusů z jedné trubky	[ks]
n_V	Výrobní série	[ks]
s	Tloušťka trubky	[mm]
s_0	Výchozí tloušťka trubky	[mm]
v	střížná rychlost	[m.s ⁻¹]
w	Práce plastické deformace	[J]
q	Poloměr zakřivení materiálu	[mm]
q_k	Ztráta materiálu z nevyužitého konce	[kg]
t_A	celkový strojní čas	[Nh]
t_{A1}	výrobní čas jednoho kusu	[min.ks ⁻¹]
ρ	hustota materiálu	[Kg.m ⁻³]
π	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho_{A,B}$	Poloměr zakřivení výtažku ke středu tloušťky materiálu	[mm]
φ_1	logaritmická deformace tahová	[-]
φ_2	logaritmická deformace tlaková	[-]
φ_3	logaritmická deformace při změně tloušťky trubky	[-]
φ_i	součinitel středních deformací	[-]
φ_{icelk}	celková hodnota plastické deformace	[-]
λ	součinitel plnosti diagramu zpevnění	[-]

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1 – matriál nástroje

PŘÍLOHA 2 – Univerzální sloupové hydraulické lisy CUPJ

PŘÍLOHA 3 – Výkresová dokumentace

Výkres sestavy	LISOVACÍ NÁSTROJ V1	BP-3K1-002
Kusovník	LIS. NÁSTROJ –V	BP-3K1-101
Kusovník	LIS. NÁSTROJ –V2	BP-3K1-101
Výkres sestavy	LISOVACÍ NÁSTROJ V2	BP-3K1-102
Výkres dílu	HRDLO-POLOTOVAR	BP-3K1-103
Výkres dílu	VÁLCOVÉ POUZDRO-O-1	BP-3K1-104
Výkres dílu	VÁLCOVÉ POUZDRO-O-2	BP-3K1-105
Výkres dílu	VÁLCOVÉ POUZDRO-O-3	BP-3K1-106
Výrobní výkres	TAŽNICE V2	BP-3K1-107
Výrobní výkres	TAŽNÍK-OPERACE 1 V2	BP-3K1-108
Výrobní výkres	TAŽNÍK-OPERACE 2 V2	BP-3K1-109
Výrobní výkres	MATRICE-OPERACE 3 V2	BP-3K1-110

Příloha č. 1
Materiál nástroje

ČSN 41 9437

STN 41 9437

Nástrojová vysokolegovaná Cr-W-V

ocel pro práci za studena

OCEL

19 437

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	W	V
1,80–2,05	0,20–0,45	0,20–0,45	max 0,030	max 0,035	11,00–12,50	max 0,50	0,60–1,00	0,15–0,30

Polotovary

[1] tyče kované nebo válcované za tepla

[2] tyče broušené nebo broušené a leštěné

[3] výkovky

Mechanické vlastnosti ¹⁾

Polotovar	[1]
Rozměr t, d [mm]	20
Stav	kalený a popuštěný
Mez kluzu R _s nebo R _p 0,2 [MPa]	–
Mez pevnosti R _m [MPa]	–
Tažnost A ₅ [%]	–
Kontrakce Z [%]	–
Vrubová houževnatost KCU 2 [J.cm ⁻²]	–
Tvrdost HRC	58–64 (K.t. 980 °C/olej; P.t. 100–300 °C/1×2 h)
Mez kluzu v tlaku R _{et} [MPa]	2 750–3 000 (při HRC 58–64)
Pevnost v ohybu R _{m0} [MPa]	~3 750 (při HRC 62)

Fyzikální vlastnosti

Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Rezistivita
ρ [kg.m ⁻³]	c _p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	α [K ⁻¹]	λ _t [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	ρ [Ω.m]
7 730	–	12,1.10 ⁻⁶	29,5	–

Odolnost proti degradačním procesům

ODOLNOST PROTI KOROZI

relativně malá

ODOLNOST PROTI KŘEHKÉMU LOMU

velmi malá

Technologické údaje

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

žihání na měkko

žihání ke snížení pnutí

kalení

popouštění

primární

sekundární

750–780 °C

600–650 °C

960–1 000 °C³⁾

1 040–1 080 °C⁴⁾

100–300 °C

520–540 °C

ochlazovat v peci – max 250 HB

ochlazovat v peci

ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo termálně – min 62 HRC

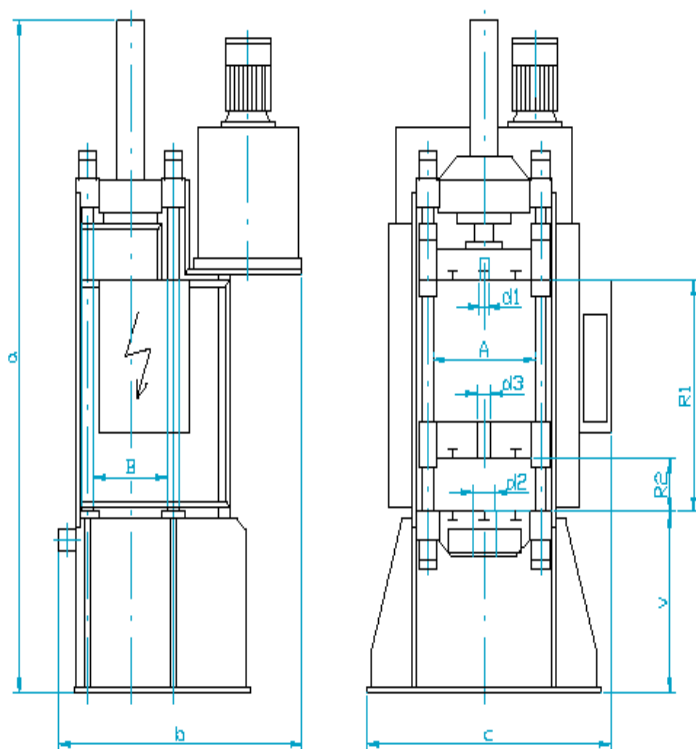
ochlazovat v lázni o teplotě asi 450 °C

ochlazovat na vzduchu

ochlazovat na vzduchu

Příloha č.2

Univerzální sloupové hydraulické lisy CUPJ



CUPJ					60	60/10	10/2
Kód SKP	SKP code	Kode der Gruppe			29.40		
Jmenovitá síla hlavního beranu	Main ram nominal force	Nennkraft des Hauptstößels		kN	600	600	100
Jmenovitá síla pomoc. beranu	Auxiliary ram nominal force	Nennkraft des Hilfsstößels		kN		100	20
Výkon	Output	Leistung		kW	11	11	2,2
Rychlost hlavního beranu	Main ram speed	Geschwindigkeit des Hauptstößels	↓	mm/s	80/55/40	85	150
			↓	mm/s	20/13/7	16	16
			↑	mm/s	75/55/40	85	100
Rychlost pomocného beranu	Auxiliary ram speed	Geschwindigkeit des Hilfsstößels	↓	mm/s	-	22	35
			↑	mm/s	-	42	32
Rozevření hlavního beranu	Main ram capacity	Weite des Hauptstößels	R 1	mm	1200	1450	1260
Rozevření pomoc. beranu	Auxiliary ram capacity	Weite des Hilfsstößels	R 2	mm	-	530	540
Zdvih hlavního beranu	Main ram stroke	Hub des Hauptstößels	H 1	mm	800	900	700
Zdvih pomoc. beranu	Auxiliary ram stroke	Hub des Hilfsstößels	H 2	mm	-	200	160
Průchod	Pass	Durchgang	AxB	mm	520x320	750x370	600
Beran hlavní	Main ram	Hauptstößel	A ₁ xB ₁	mm	520x400	750x360	240x130
Beran pomocný	Auxiliary ram	Hilfsstößel	A ₂ xB ₁	mm	-	300x300	550x250
Stůl	Table	Tisch	A ₂ xB ₂	mm	520x400	750x600	600x400
Výška	Height	Höhe	a	mm	3530	3740	3340
Hloubka	Depth	Tiefe	b	mm	1315	1580	650
Šířka	Width	Breite	c	mm	1260	1690	1375*
Díra v beranu	Ram hole	Öffnung in dem Stößel	d ₁	mm	50 H7	50 H7	32 H7
Propad ve stole	Table hole	Durchfall in dem Tisch	d ₂	mm	120	80	80
Výška stolu	Table height	Tischhöhe	v	mm	1000	860	750
Hmotnost (cca)	Mass (approx.)	Gewicht ca.		kg	3000	3340	1650
Hlučnost	Noise level	Geräuschpegel		dBA	max. 85		